précipitations acides

LE CHAULAGE AU QUÉBEC: PROBLÉMATIQUE ET SUIVI TEMPOREL DE SES EFFETS SUR HUIT LACS DE LA RÉGION DE LA MAURICIE

RAPPORT Nº QEN/PA-32/1

Québec

RAPPORT CONJOINT

LE CHAULAGE AU QUÉBEC: PROBLÉMATIQUE ET SUIVI TEMPOREL DE SES EFFETS SUR HUIT LACS DE LA RÉGION DE LA MAURICIE

RAPPORT Nº QEN/PA-32/1

par

Louis HOUDE, Michel LEMIEUX

Service de l'Aménagement et de l'Exploitation de la Faune
Direction régionale des Trois-Rivières
Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche

et

Jacques DUPONT

Direction de la qualité du milieu aquatique
Ministère de l'Environnement du Québec

29 mars 1989

90-01856/

Dépôt légal - 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-19624-4

Envirodoq 890173
Acidoq AC 890001
Série QEN/PA-32/1

CONTRIBUTION

AUTEURS

Louis Houde, M.Sc.[1]
Michel Lemieux, B.Sc.[1]
Jacques Dupont, M.Sc.[2]

PERSONNEL TECHNIQUE

Marcel Cloutier[1]
Claude Poitras[1]

FIGURES

Francine Matte-Savard[2]
Denis Hudon[2]

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Yvon Richard, M.Sc.[2]
Lévis Talbot, M.Sc.[2]
Marius Lachance, Ph.D.[3]
Paul-Émile Lafleur, M.Sc.[4]
Pierre Magnan, Ph.D.[6]

RÉVISION LINGUISTIQUE

André Richard[5]

[1] Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune
Direction régionale de Trois-Rivières
Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche
605, rue de la Station
Shawinigan (Québec)

[2] Direction de la qualité du milieu aquatique
Ministère de l'Environnement du Québec
3900, rue Marly, Sainte-Foy (Québec) G1X 4E4

[3] Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau)
2700, boul. Einstein, Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

[4] Service des habitats fauniques
Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche
150, boul. Saint-Cyrille est, Québec (Québec)

[5] Direction des communications
Ministère de l'Environnement du Québec
3900, rue Marly, Sainte-Foy (Québec) G1X 4E4

[6] Département de Chimie-Biologie
Université du Québec à Trois-Rivières
C.P. 500, Trois-Rivières (Québec) G9A 5H7

RÉSUMÉ

Le chaulage des lacs est reconnu comme une méthode d'intervention permettant de réduire l'acidité et d'augmenter la productivité des eaux de surface à court terme par l'application directe dans le lac de substances alcalines. Huit lacs de la Mauricie ont fait l'objet d'un traitement visant à neutraliser l'acidité de leurs eaux. Leur superficie variait de trois à 179 hectares et leur temps de rétention moyen de 0,25 à 2,99 années. L'acidité pré-chaulage variait de 5,0 à 6,1 unités de pH. Deux lacs montraient une nette dominance organique, alors qu'un seul avait des eaux très claires.

Les objectifs de ce chaulage expérimental étaient de déterminer ses effets sur la physico-chimie des eaux de surface et sur la survie des populations piscicoles introduites dans les lacs. Le chaulage a entrainé une augmentation immédiate du pH, de l'alcalinité, de la conductivité et du calcium, et, quand elle fut mesurée, une augmentation différée d'un an de la productivité estimée (nitrates-nitrites, couleur et carbone organique dissous). Le chaulage n'a pas eu d'influence sur les autres variables chimiques étudiées (SO_4, NH_4, SiO_2, Cl, Mg, Na, K, Fe), sauf pour une légère diminution de l'aluminium filtré. Le retour aux conditions d'origine pour le pH, l'alcalinité, le calcium et la conductivité s'est effectué en fonction du temps de renouvellement des eaux. Quant aux NO_x, le retour aux valeurs d'origine est survenu plus rapidement que pour les autres paramètres. Ainsi, la persistance des effets du chaulage a été élevée pour les lacs Junior, Fontaine, des Pins et du Milieu, alors qu'elle a été faible pour les lacs Matte, Dow et Merrill, ceci étant principalement dû au fait que les premiers lacs possèdent un temps de rétention des eaux plus long.

Plusieurs produits et méthodes d'épandage ont été expérimentés. La dissolution instantanée est influencée par ces facteurs, mais les différences s'estompent à long terme. Le temps de rétention, la morphométrie et la dominance organique influencent également l'efficacité du chaulage.

La recapture des poissons ensemencés pour la pêche sportive dans les lacs traités à la calcite a été plus élevée que dans les lacs voisins non-chaulés, même si certains de ces derniers étaient non acides. L'ensemencement subséquent des lacs chaulés serait donc plus avantageux, puisqu'à pression de pêche égale, la recapture des poissons ensemencés a été supérieure après chaulage (+15 à +44 pour cent).

Pour les lacs à omble de fontaine, les coûts de récupération se sont partagés de manière égale entre le chaulage et les ensemencements subséquents. Les coûts de la réalisation technique ont été fortement influencés par le transport et la main d'oeuvre, la calcite n'y contribuant que pour dix pour cent des coûts totaux. La rentabilité économique fut atteinte pour les lacs à omble de fontaine dans le cas où le temps de rétention était supérieur à un an et où les rives du plan d'eau étaient facilement accessibles. Cette dernière condition favorise tout autant la réalisation technique du chaulage que l'exploitation subséquente du plan d'eau par la pêche sportive. La rentabilité économique n'a pas été atteinte pour les lacs à doré et touladi (lac Matte).

MOTS CLÉS: Chaulage, fertilisation, calcite, chaux, acidité, omble de fontaine, ensemencement, lac, analyses coûts-bénéfices, qualité de l'eau, physico-chimie, pêche sportive, pêche expérimentale.

RÉFÉRENCE À CITER:

HOUDE, L., M. LEMIEUX, et J. DUPONT. 1989. Le chaulage au Québec: Problématique et suivi temporel de ses effets sur huit lacs de la région de la Mauricie, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, ministère de l'Environnement du Québec, rapport conjoint N° QEN/PA-32/1, Envirodoq N° 890173, Acidoq N° AC 890001, 137 pages.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
- CONTRIBUTION		iii
- RÉSUMÉ		v
- TABLE DES MATIÈRES		vii
- LISTE DES TABLEAUX		ix
- LISTE DES FIGURES		xi
- LISTE DES ANNEXES		xiii
- REMERCIEMENTS		xv
I. INTRODUCTION		1
II. DESCRIPTION DE L'AIRE D'ÉTUDE		3
	II.1 LOCALISATION DES LACS	3
	II.2 GÉOLOGIE ET SÉDIMENTS DE SURFACE	3
	II.3 CLIMATOLOGIE	6
	II.4 CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES ET MORPHOMÉTRIQUES DES LACS ET BASSINS VERSANTS	8
III. EFFETS DU CHAULAGE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU		11
	III.1 ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSES CHIMIQUES	11
	III.1.1 Protocole d'échantillonnage	11
	III.1.2 Paramètres analysés	13
	III.2 QUALITÉ DE L'EAU À L'ORIGINE	13
	III.3 ÉVALUATION DES EFFETS DU CHAULAGE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU	18
	III.3.1 Acidité des lacs	19
	III.3.2 Minéralisation induite par le chaulage	28
	III.3.3 Effets sur les autres composantes de la qualité de l'eau	31
IV. ÉVALUATION DU CHAULAGE		33
	IV.1 DOSAGE, QUALITÉ DU PRODUIT ET TECHNIQUES DE CHAULAGE	33
	IV.1.1 Qualité du produit utilisé	33
	IV.1.2 Calcul du dosage	35
	IV.1.3 Réalisation technique	35
	IV.2 PARAMÈTRES UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION	37
	IV.3 EFFICACITÉ DU TRAITEMENT	38
	IV.3.1 Effet instantané	38
	IV.3.2 Persistance du traitement	42
	IV.3.3 Utilisation de la calcite	47
V. IMPACT DU CHAULAGE SUR LES POPULATIONS DE POISSONS		53
	V.1 ESPÈCES SPORTIVES ET COMMUNAUTÉS À L'ORIGINE	53

V.2 ÉVALUATION PAR LA PÊCHE EXPÉRIMENTALE..... 53
V.2.1 Méthodologie..... 55
V.2.2 Taux de recapture au filet maillant et croissance..... 56
V.3 ÉVALUATION PAR LA PÊCHE SPORTIVE..... 60

VI. RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE..... 71

VI.1 ENVIRONNEMENT SOCIO-POLITIQUE..... 71
VI.1.1 Problématique de la pêche dans les ZEC..... 71
VI.1.2 Demande pour la pêche dans les ZEC..... 72
VI.1.3 Taux de fréquentation des lacs chaulés..... 72
VI.2 MÉTHODOLOGIE..... 74
VI.3 RÉPARTITION DES COÛTS..... 75
VI.4 CALCUL DES BÉNÉFICES..... 77
VI.5 ANALYSE BÉNÉFICES-COÛTS..... 77

VII. CONCLUSIONS..... 81

- RÉFÉRENCES..... 85
- ANNEXES..... 89

LISTE DES TABLEAUX

		Page
II.1	Localisation des lacs chaulés en Mauricie.....	5
II.2	Géologie des bassins versants étudiés.....	5
II.3	Régimes climatologiques et hydrologiques mensuels estimés pour la région d'étude.....	7
II.4	Sommaire de la qualité des précipitations humides à la station de Grande Anse pour les années 1983 à 1985.....	9
II.5	Caractéristiques physiques des lacs chaulés et de leur bassin versant.....	10
III.1	Dates d'échantillonnage des lacs suivis.....	12
III.2	Procédures de conservation des échantillons.....	14
III.3	Procédures analytiques utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques.....	15
III.4	Physico-chimie observée avant le chaulage des lacs.....	16
IV.1	Analyse chimique de la calcite provenant des carrières de Calco, exprimée en pourcentage.....	34
IV.2	Granulométrie des moutures agricole et horticole de la calcite chez Calco Inc. (1987).....	34
IV.3	Méthodes de traitement des lacs chaulés.....	36

IV.4 Concentrations de calcium avant et après chaulage et proportion des quantités en solution sur les quantités ajoutées (échantillon intégré)..... 39

IV.5 Vitesse d'épandage, mouture et dissolution instantanée du chaulage avec de la calcite prédissoute..... 41

IV.6 Persistance des effets du chaulage selon la tendance de la concentration du calcium à l'homothermie automnale..... 44

IV.7 Débits mensuels et pertes de calcium au lac Fontaine..... 48

V.1 Liste des espèces recensées et état estimé des populations par lac..... 54

V.2 Captures et ensemencements avant et après le chaulage..... 62

V.3 Caractéristiques comparées des lacs chaulés et non-chaulés des figures V.2a et V.2b..... 63

V.4 Taux de survie de l'omble de fontaine..... 68

VI.1 Pression de pêche dans les ZEC..... 73

VI.2 Fréquentation dans les trois années précédant le chaulage comparée à celle de la ZEC respective où se situe le lac.. 73

VI.3 Répartition des coûts selon les catégories de dépenses.... 76

VI.4 Rapport bénéfices/coûts par hectare par année des projets de chaulage..... 78

VI.5 Données servant au calcul des rapports bénéfices/coûts.... 79

LISTE DES FIGURES

Page

II.1 Localisation des lacs chaulés en Mauricie..... 4

III.1 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac Merrill..... 20

III.2 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac Dow..... 21

III.3 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac Matte..... 22

III.4 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac Junior..... 23

III.5 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac Fontaine..... 24

III.6 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac du Milieu..... 25

III.7 Évolution temporelle de l'acidité, de l'alcalinité et du calcium au lac des Pins..... 26

IV.1 Relation entre le temps de renouvellement et la persistance estimée des effets du chaulage..... 45

IV.2 Perte théorique en calcium à l'émissaire dans les lacs Matte, Fontaine, du Milieu et des Pins..... 49

IV.3 Perte théorique en calcium à l'émissaire dans les lacs Dow, Merrill et Junior..... 49

V.1 Relation entre le succès de pêche et les captures cumulées au lac Junior en 1982 et en 1986..... 57

V.2 Évolution temporelle du pH des eaux de surface du lac Junior et taux de recapture des ombles de fontaine ensemencés..... 58

V.3 Relation entre le retour d'ensemencement et la pression de pêche (en jours/hectare) pour les lacs chaulés et les lacs non chaulés..... 65

V.4 Relation entre le succès de la pêche sportive et le cumul des captures dans les lacs chaulés de la ZEC Tawachiche.. 67

LISTE DES ANNEXES

page

1. Méthode et paramètres de calcul du temps de rétention..... 89

2. Liste des données brutes concernant la physico-chimie des sept lacs chaulés de la région de la Mauricie..... 97

3. Statistiques descriptives de la qualité des eaux des lacs chaulés..... 111

4. Évolution temporelle de la qualité de l'eau des lacs chaulés à la calcite..... 115

5. Réalisation technique du chaulage sur chacun des lacs traités..... 125

6. Statistiques de pêche des lacs chaulés..... 129

7. Détails relatifs des captures quotidiennes au filet maillant au lac Junior en 1982 et 1986..... 135

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier messieurs Yvon Richard et Lévis Talbot de la Direction de la qualité du milieu aquatique du ministère de l'Environnement, messieurs Paul-Émile Lafleur et Pierre Martin du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, le docteur Marius Lachance de l'Institut national de la recherche scientifique en eau (INRS-Eau) et le docteur Pierre Magnan de l'Université du Québec à Trois-Rivières, ainsi que tous ceux qui, par leurs précieux conseils et leurs critiques pertinentes, nous ont permis de mener à bien cette étude.

Nous aimerions également remercier tout le personnel technique et de soutien qui nous a permis, par ses efforts, de pouvoir réaliser ce projet.

I. INTRODUCTION

Ce rapport rend compte des expériences de chaulage de lacs acides menées en Mauricie, et dont la première remonte à 1981. Ces expériences ont eu lieu en Zones d'Exploitation Contrôlée (ZEC), sous l'instigation du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, avec comme objectif principal d'augmenter (ou de diversifier dans deux cas) l'offre de pêche jugée déficiente. De 1981 à 1987, l'échantillonnage de l'eau des lacs s'est fait à raison de 60 à 84 échantillons par année et les analyses ont été effectuées au laboratoire du ministère de l'Environnement du Québec.

L'utilisation de la calcite ($CaCO_3$) pour l'aménagement des lacs n'est pas une nouveauté, mais par le passé, cette méthode était surtout utilisée dans un but de fertilisation. À l'occasion d'une causerie présentée à l'Association des pêcheurs du Québec en 1944, M. Taylor, alors directeur de l'Aquaculture au Département de la chasse et de la pêche du Québec, a fait part d'une expérience menée en Mauricie, plus précisément au lac Blue sur le club Oriscany. Dans le but d'enrichir le lac et d'y favoriser la croissance de l'omble de fontaine, on y ajouta des quantités égales de "Gardenite" (N-P-K: 4-8-10) et de calcite moulue (Taylor, 1944). Plus récemment en 1971, le Docteur Didier Dufour de l'Université Laval, en collaboration avec le Service de protection de l'environnement a réalisé un projet de neutralisation d'un lac acide de la région de Québec (Seigneurie de Beaupré) et le traitement sembla persister au moins deux ans (Dufour et al., 1972, 1974).

Ailleurs au Canada, peu d'expériences de neutralisation de l'acidité des lacs ont été réalisées. La plus connue concerne quatre lacs de la région de Sudbury, Ontario. Ces lacs avaient été fortement pollués par les émissions de SO_2 en provenance des industries locales. En plus de présenter une acidité élevée, ils étaient caractérisés par de fortes concentrations en métaux traces (Yan et al., 1979). D'autres expériences de chaulage ont été également tentées en Ontario (lac Bowland et Trout) et en Nouvelle-Écosse (lac Sandy) (Sverdrup et al., 1985). De

plus, le chaulage d'une rivière à saumon atlantique (rivière Chester) devrait être en cours en Nouvelle-Écosse dans le but d'assurer un refuge pour un stock menacé (Martin, 1986). Ces projets avaient d'abord un but expérimental, alors que dans notre cas, le chaulage est principalement axé sur la récupération ou le soutien des pêcheries sportives. Aux États-Unis, l'utilisation de la chaux hydratée ($Ca[OH]_2$) et de la calcite ($CaCO_3$) a été expérimentée une première fois au Wisconsin dans le but d'augmenter l'alcalinité des lacs humiques (Hasler et al., 1951). Plus récemment, le Service fédéral américain de la faune a produit un guide encadrant un programme de recherche sur les projets de chaulage (Saunders et al., 1985). Ce dernier a été mis en application dans l'État de New York pour les lacs des Monts Adirondack. Les résultats sont rapportés dans Schofield et al. (1986).

Depuis que le chaulage a été mis en application, les buts de ce genre d'opération n'ont à peu près pas changé, étant toujours orientés vers le secteur de la pêcherie. C'est la pertinence de cette technique, face au problème des précipitations acides, qui a intéressé le ministère de l'Environnement du Québec et a permis d'élargir le suivi environnemental aux caractéristiques chimiques de l'eau. L'étude de la physico-chimie, des statistiques de pêche historiques et actuelles, ainsi que des considérations globales de gestion faunique permettent d'évaluer la pertinence du chaulage en tant qu'outil d'aménagement.

II. DESCRIPTION DE L'AIRE D'ÉTUDE

II.1 LOCALISATION DES LACS

Tous les lacs traités sont situés entre les latitudes 47°00'N et 47°45'N et les longitudes 72°24'O et 72°50'O (Figure II.1). Les coordonnées spécifiques de chacun des lacs chaulés sont présentées au tableau II.1. Comme il a été mentionné précédemment, ces lacs sont situés en zones d'exploitation contrôlée, et principalement dans la ZEC Tawachiche.

II.2 GÉOLOGIE ET SÉDIMENTS DE SURFACE

Les sept bassins versants considérés pour le suivi du chaulage expérimental sont tous situés sur le bouclier canadien. Ces bassins sont plus particulièrement localisés dans la province géologique de Grenville au nord du contrefort des Laurentides.

Selon la cartographie de Shilts et al. (1981), les sept lacs sont situés sur des bassins versants où la capacité de neutralisation de la roche mère et des substrats superficiels est très faible. De fait, les sols contiennent peu d'éléments carbonatés, ces derniers étant principalement dérivés de l'altération chimique et physique de roches granitiques, gneissiques et anorthositiques (Godbout, 1967).

Le tableau II.2 présente les caractéristiques géologiques spécifiques de chacun des sept bassins versants considérés. La géologie générale se résume aux roches ignées métamorphiques apparentées en majeure partie aux gneiss, diorites, granodiorites, migmatites et gabbros (Laurin et Sharma, 1975; Rondot, 1978).

Les caractéristiques géomorphologiques et pédologiques détaillées des sept bassins versants ne sont pas disponibles. Toutefois, selon Godbout (1967), les sols des bassins versants de ce secteur s'apparenteraient en grande partie au groupe de Saint-Colomban. Ce type de sol

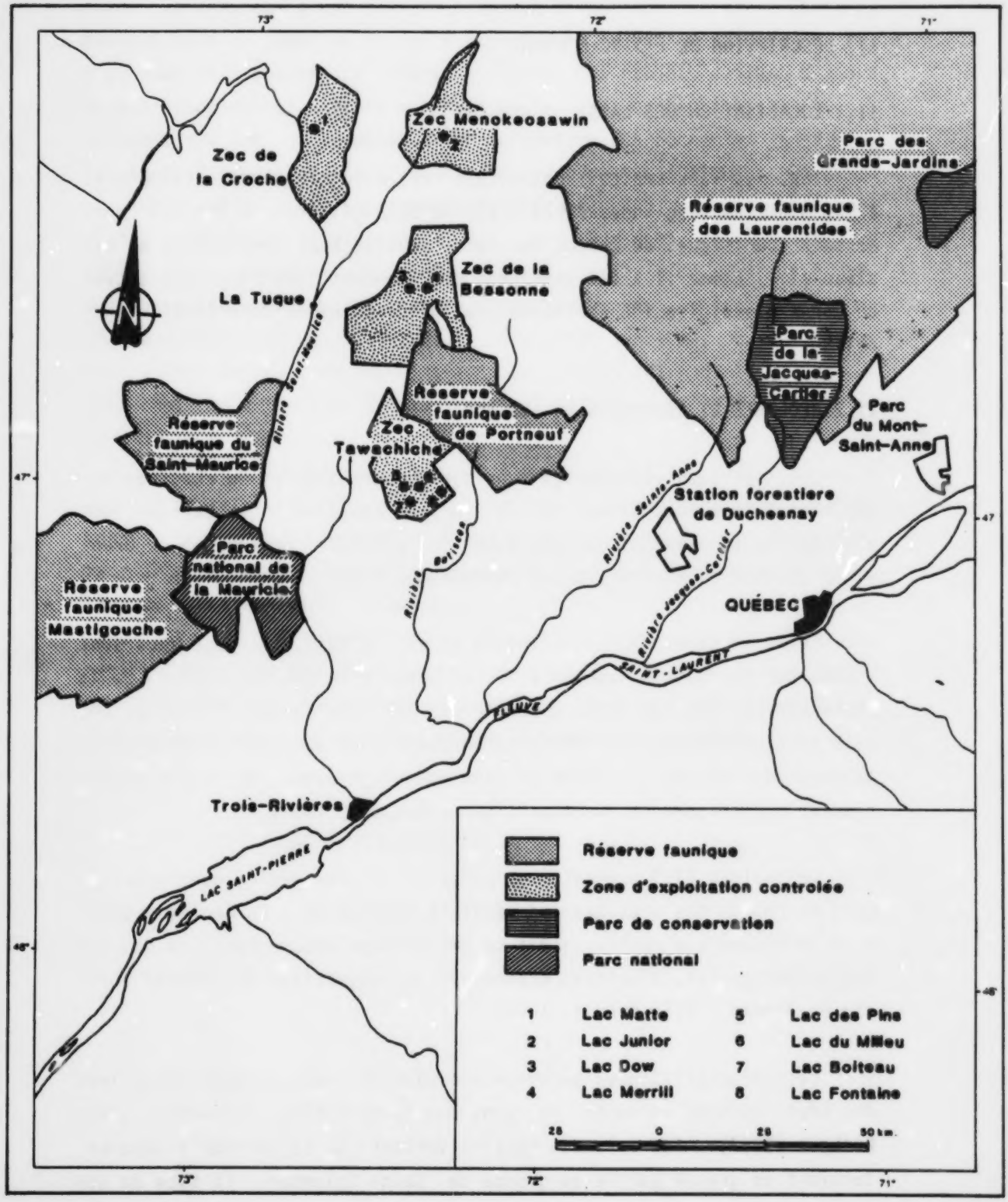


Figure II.1. LOCALISATION DES LACS CHAULÉS EN MAURICIE.

Tableau II.1 Localisation des lacs chaulés en Mauricie.

LAC	MRN[1]	LONG. OUEST	LATITUDE NORD	ZEC[2]	ANNÉE DE CHAULAGE
Boiteau	6031	72°29'40"	46°59'30"	Tawachiche	1986
Dow	90657	72°30'10"	47°30'30"	Bessonne	1984
Fontaine	8381	72°25'50"	47°00'30"	Tawachiche	1984,1987
Lise	86759	72°26'20"	47°00'55"	Tawachiche	1987
Castor	86760	72°25'15"	47°01'15"	Tawachiche	1987
à la Vase	86761	72°25'10"	47°00'35"	Tawachiche	1987
Junior	27048	72°23'37"	47°44'32"	Ménokéosawin	1981,1985
Matte	9042	72°50'02"	47°44'46"	La Croche	1984
Merrill	92135	72°29'50"	47°30'30"	Bessonne	1984
du Milieu	6025	72°29'30"	47°00'15"	Tawachiche	1983
des Pins	A5796	72°29'50"	47°00'15"	Tawachiche	1983

Tableau II.2 Géologie des bassins versants étudiés.

LAC	GÉOLOGIE
des Pins	Présence majeure: gneiss variés à grain fin et gris Présence mineure: amphibolite, métabasalte et tuf associés[1]
Dow	Présence majeure: roches basiques et ultrabasiques (gabbro et diorite)[1]
du Milieu	Présence majeure: gneiss variés à grain fin et gris[1]
Fontaine	Présence majeure: gneiss variés à grain fin et gris[1]
Junior	Présence majeure: diorite et granodiorite[2]
Matte	Présence majeure: migmatite grise et rose à biotite et hornblende Présence mineure: gabbro et roches ultramafiques[1]
Merrill	Présence majeure: gneiss et migmatite sodique à grain fin[1]

[1] Rondot (1978)
[2] Laurin et Sharma (1975)

se caractérise généralement par un till acide, mince et très pierreux. Ces substrats sont épais dans les dépressions et plus minces en altitude où les affleurements rocheux sont communs. Les sols de ce secteur sont principalement associés aux podzols humo-ferriques orthiques, accompagnés de sols organiques (gleysols et luvisols) dans les dépressions humides (Clayton et al., 1978). Il est possible qu'il y ait présence de sols à ortsteins en certains endroits de la zone d'étude, bien que ces derniers soient plus communs sur la Côte-Nord ou dans la Réserve faunique des Laurentides. Ce type de sol se caractérise par un horizon Bh, Bhf ou Bf fortement cimenté, d'au moins trois centimètres d'épaisseur, se trouvant dans plus du tiers de la surface du pédon. Ces horizons pédologiques sont bruns-rougeâtres foncés (Clayton et al., 1978).

II.3 CLIMATOLOGIE

La région étudiée reçoit de 900 à 1 200 mm de précipitations annuellement (Wilson, 1971). Toutefois, pour les années qui nous intéressent, les précipitations annuelles ont été de 1 043, 839 et 861 mm respectivement en 1983, 1984 et 1985 à la station météorologique de Grande-Anse près de la Tuque. Environ 25 pour cent de ces précipitations annuelles tombent au sol sous la forme de neige. Le tableau II.3 fournit également la répartition mensuelle du pourcentage de précipitations solide et liquide (moyenne 1983-1985). La température moyenne annuelle varie, quant à elle, de trois à zéro degrés Celsius.

Il faut noter que malgré la faible distance géographique entre les lacs (87 km entre les lacs les plus éloignés), le régime climatologique peut différer sensiblement de l'un à l'autre. Parmi les facteurs responsables de ces variations, mentionnons l'influence du relief induite par la vallée du Saint-Maurice et la bordure du bouclier canadien. En ce qui a trait au régime hydrologique, il faut ajouter à ces facteurs la capacité de rétention du bassin versant qui varie selon la pente et la géologie locale.

Tableau II.3 Régimes climatologiques et hydrologiques mensuels estimés pour la région d'étude.

MOIS	PRÉCIPITATIONS[1] (pourcentage)			DÉBIT DU BASSIN[2] (pourcentage)	
	PLUIE	NEIGE	TOTALE	BATISCAN	MATAWIN
Janvier	0,52	3,17	3,69	3,25	4,21
Février	2,12	5,14	7,26	3,03	4,05
Mars	2,28	2,49	4,77	3,57	4,39
Avril	6,63	1,40	8,03	20,58	20,71
Mai	15,07	-	15,07	25,29	27,40
Juin	10,67	-	10,67	9,60	9,08
Juillet	13,52	-	13,52	7,06	9,01
Août	3,82	-	3,82	4,29	3,79
Septembre	9,76	-	9,76	4,45	2,83
Octobre	5,99	-	5,99	4,81	3,99
Novembre	5,82	2,89	8,71	8,02	5,29
Décembre	0,98	7,75	8,73	6,05	5,25

1 Station de Grande Anse, précipitations moyennes de 1983 à 1985.
2 Calculé sur les moyennes des débits de 1983 à1985. Batiscan à 3 km en aval de la rivière des Envies; Matawin à 4 km en aval du pont-route 131 à Saint-Michel-des-Saints.

Au niveau de la qualité des précipitations, la région de la Tuque a reçu un dépôt humide annuel de sulfates variant entre 19,3 et 20,9 kg/ha/an (41,8 à 46,7 µeq/L) pour les années 1983 à 1985 (Grimard, 1984, 1986; Jacques et Grimard, 1987). Pendant cette même période, cette région a reçu un dépôt humide annuel de nitrates variant entre 14,2 et 15,2 kg/ha/an (22,3 à 28,5 µeq/L). Quant à l'acidité des précipitations, le pH moyen annuel des dépôts humides a oscillé entre 4,34 et 4,46 unités. Le tableau II.4 présente la physico-chimie des précipitations annuelles pour les années 1983, 1984 et 1985. Les données de qualité des précipitations humides n'étaient pas encore disponibles pour l'année 1987 au moment où ce document a été écrit.

II.4 CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES ET MORPHOMÉTRIQUES DES LACS ET BASSINS VERSANTS

Les lacs étudiés appartiennent à deux bassins hydrographiques, soit celui de la rivière Batiscan pour la ZEC Tawachiche et celui de la rivière Saint-Maurice pour les autres ZEC. Exception faite des lacs Fontaine, Matte et du Milieu, ces plans d'eau sont situés à la tête des bassins versants. Le tableau II.5 présente différents indices utilisés pour caractériser les plans d'eau et leur bassin versant. Notons que parmi les sept plans d'eau étudiés, trois (Dow, Merrill et Fontaine) ne répondent pas à la définition de lac selon Sanders et al. (1985), le temps de rétention étant inférieur à six mois.

Il n'existe pas de données hydrologiques pour les lacs à l'étude. Toutefois, l'examen des données de débit disponibles pour les bassins versants des rivières Batiscan et Saint-Maurice peut nous renseigner sur le comportement hydrologique des lacs chaulés qui leur sont associés. Pour les données utilisées lors du traitement, consulter l'annexe 1.

Tableau II.4 Sommaire de la qualité des précipitations humides à la station de Grande Anse pour les années 1983 à 1985.

PARAMÈTRES	1983[1]		1984[2]		1985[3]	
	kg/ha/an	µeq/L	kg/ha/an	µeq/L	kg/ha/an	µeq/L
pH (unités)	4,46		4,34		4,36	
SO_4^{2-}	20,9	41,8	20,0	49,7	19,3	46,7
NO_x	14,4	22,3	14,2	27,3	15,2	28,5
NH_4^+	3,2	16,8	2,7	17,9	2,4	15,7
Ca^{2+}	1,8	8,7	1,4	8,3	1,5	8,5
Mg^{2+}	0,4	3,1	0,2	1,8	0,2	1,7
Na^+	3,5	14,5	2,0	10,3	0,8	3,8
K^+	1,3	3,1	0,5	1,4	0,3	0,8
Cl^-	5,6	15,2	3,5	11,6	1,5	5,0
HCO_3^-	0,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
F^-	0,14	0,73	0,13	0,84	0,15	0,93
PRÉCIPITATIONS TOTALES (mm)	1042,9		838,9		861,3	
PRÉCIPITATIONS ANALYSÉES (%)	96,9		97,5		93,2	

1 Grimard (1984)
2 Grimard (1985)
3 Jacques et Grimard (1987)

Tableau II.5 Caractéristiques physiques des lacs chaulés et de leur bassin versant.

NOM	ALTI-TUDE (m)	PÉRI-MÈTRE (km)	PROF. MAX. (m)	PROF. MOY. (m)	SUP. LAC (ha)	SUP. BASSIN (ha)	VOLUME (m^3)	TEMPS RÉTENTION (année)
Boiteau	339	2,32	31,7	11,7	27,4	249,0	3 196 592	3,0
Dow	390	n.d.	4,5	1,5	4,5	49,6	66 750	0,3
Junior	382	0,70	12,0	4,2	2,9	11,3	121 828	2,5
Fontaine	334	6,06	14,3	4,6	42,9	1159,8	1 955 662	0,4
Lise	345	0,78	5,9	1,3	3,1	50,7	40 072	0,2
Castor	347	0,87	3,9	0,9	2,9	48,6	26 252	0,1
à la Vase	357	0,98	2,2	0,8	3,8	53,1	30 990	0,1
Matte	307	12,52	24,0	6,3	179,0	3449,4	12 879 586	0,9
Merrill	364	n.d.	6,0	3,0	6,5	182,7	195 000	0,3
du Milieu	361	4,13	15,9	3,7	28,5	249,1	1 055 000	1,0
des Pins	363	1,35	13,7	4,7	13,0	100,6	608 000	1,4

III. EFFETS DU CHAULAGE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

III.1 ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSES CHIMIQUES

Le programme expérimental de chaulage et du suivi physico-chimique, entrepris conjointement par le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche et le ministère de l'Environnement du Québec, a été mené sur sept lacs de la région de la Mauricie. Le suivi du chaulage dans le cas des lacs Merrill et Dow a été interrompu en août 1986 pour des raisons budgétaires et de rationalisation. Le suivi physico-chimique s'est toutefois poursuivi pour les cinq autres lacs (Matte, Junior, du Milieu, des Pins et Fontaine) à raison de six échantillonnages par année qui se sont tenus aux périodes suivantes:

- mi-janvier
- mi-mars
- mi-mai
- mi-juillet
- mi-septembre
- mi-novembre

Le dernier échantillonnage a pris place au mois de juillet 1987. Ce dernier a marqué la fin du suivi de la qualité de l'eau par le ministère de l'Environnement du Québec. Le tableau III.1 présente les dates d'échantillonnages pour chacun des sept lacs qui ont été suivis.

III.1.1 Protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage a été le même tout au long du projet, si on fait exception de la réduction du nombre de paramètres analysés en laboratoire à partir du mois d'août 1986. Le protocole d'échantillonnage se résume comme suit:

Tableau III.1 Dates d'échantillonnage des lacs suivis.

DATES	MERRILL	DOW	MATTE	JUNIOR	FONTAINE	MILIEU	des PINS
1983							
octobre						o	o
novembre						*	*
1984							
janvier						*	*
mars	o	o				*	*
mai	*	*				*	*
juillet					o	*	*
août	*	*	o				
septembre	*	*	*		o	*	*
novembre	*	*	*		*	*	*
1985							
janvier	*	*	*		*	*	*
mars	*	*	*		*	*	*
mai	*	*	*	o	*	*	*
août			*	o	*	*	*
septembre	*	*	*	*	*	*	*
novembre	*	*	*	*	*	*	*
1986							
janvier	*	*	*	*	*	*	*
mars	*	*	*	*	*	*	*
mai	*	*	*	*	*	*	*
juillet	*	*	*	*	*	*	*
septembre			*	*	*	*	*
novembre			*	*	*	*	*
1987							
janvier			*	*	*	*	*
mars			*	*	*	*	*
mai			*	*	*	*	*
juillet			*	*	*	*	*

o - Échantillonnage précédant le chaulage du lac
* - Échantillonnage effectué suite au chaulage

- échantillonnage du lac à l'endroit le plus profond (forage d'un trou dans la glace en période hivernale);
- mesure de la transparence en période d'eau libre à l'aide d'un disque de Secchi et détermination de la profondeur au point d'échantillonnage;
- prélèvement d'un échantillon intégré 0-5 mètres et remplissage des bouteilles décrites au tableau III.2 en prenant soin d'ajouter les préservatifs prescrits;
- prélèvement d'un échantillon à un mètre du fond du lac à l'aide d'un échantillonneur Kemmerer de quatre litres;
- envoi des échantillons recouverts de glace ou de neige (pour assurer une température variant entre 0 et 4° Celsius) au laboratoire du ministère de l'Environnement du Québec.

III.1.2 Paramètres analysés

Le tableau III.3 présente la liste des paramètres physico-chimiques considérés durant le suivi de la qualité de l'eau des sept lacs de la Mauricie (échantillon intégré et échantillon recueilli au fond du lac). Certains de ces paramètres (F, P total, N total, azote Kejldahl et carbone inorganique dissous) ont été délaissés à partir du mois d'août 1986. Ces derniers s'avéraient d'intérêt secondaire pour l'étude des effets du chaulage sur l'acidité des eaux de surface. Le tableau III.3 présente également la méthode analytique utilisée pour le dosage des divers éléments, ainsi que le seuil de détection propre à chacun des paramètres analysés. La liste des données brutes pour chacun de ces paramètres est disponible à l'annexe 2.

III.2 QUALITÉ DE L'EAU À L'ORIGINE

Le tableau III.4 présente les caractéristiques physico-chimiques des lacs (échantillons intégrés) telles qu'observées avant le chaulage des plans d'eau. Des sept lacs considérés pour le chaulage, cinq étaient de nature acide (lacs Merrill, Junior, Fontaine, des Pins et du Milieu), avec un pH inférieur à 5,5 unités et une alcalinité inférieure

Tableau III.2 Procédures de conservation des échantillons.

VOLUME (ml)	PARAMÈTRES	PRÉSERVATIFS	CODES
125	NO_3, NH_4, P total[1], NK[1], N total[1]	0,5 ml H_2SO_4 8 N	nutriments
125	Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K	bouteille neuve lavée 0,5 ml HNO_3 50:50	métaux
1000	conductivité, couleur vraie, pH, alcalinité, Al filtré, SO_4, Cl, acides forts (H^+) CID[1], COD, SiO_2, F^1	aucun préservatif	

[1] Paramètres non analysés après août 1986

Tableau III.3 Procédures analytiques utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques.

PARAMÈTRES	UNITÉ	MÉTHODE ANALYTIQUE	SEUIL DE DÉTECTION
pH	unité	Électrométrie	0,1
ACIDES FORTS	µeq/L	Titration conductivimétrique par l'hydroxyde de sodium	2
ALCALINITÉ	mg/L	Titration conductivimétrique à l'acide nitrique	0,1
SO_4	mg/L	Spectrophotométrie	0,5
COULEUR VRAIE	Hazen	Spectrophotométrie	0,1
CONDUCTIVITÉ	µS/cm	Électrométrie	0,1
$NO_3 + NO_2$	mg/L	Spectrophotométrie	0,02
NH_4	mg/L	Spectrophotométrie	0,02
N Kjeldahl[1]	mg/L	Spectrophotométrie	0,02
N total[1]	mg/L	Spectrophotométrie	0,02
SiO_2	mg/L	Spectrophotométrie	0,1
F[1]	mg/L	Spectrophotométrie	0,04
P total[1]	mg/L	Spectrophotométrie	0,006
Ca	mg/L	Plasma	0,1
Mg	mg/L	Plasma	0,1
Na	mg/L	Plasma	0,1
K	mg/L	Plasma	0,1
Cl	mg/L	Titration conductivimétrique au nitrate de mercure	0,1
Fe	mg/L	Plasma	0,01
Mn	mg/L	Plasma	0,01
Al-filtré	mg/L	Plasma	0,01
CID[1]	mg/L	Irradiation UV et conductivimétrie	0,1
COD	mg/L	Irradiation UV et conductivimétrie	0,1

[1] Paramètres non analysés à partir du mois d'août 1986.

Tableau III.4 Physico-chimie observée avant le chaulage des lacs.

PARAMÈTRES	MERRILL	DOW	MATTE	JUNIOR	FONTAINE	MILIEU	des PINS
DATE	19/03/84	19/03/84	22/08/84	05/05/85	09/07/84	11/10/83	11/10/83
pH (unités)	5,1	6,1	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0
Alcalinité (mg/L)	0,4	7,9	1,9	0,3	0,0	0,3	0,0
Couleur (Hazen)	88	49	60	7	20	22	57
SO_4^{2-} (mg/L)	4,0	3,0	4,0	2,0	5,0	5,0	5,5
SiO_2 (mg/L)	8,5	7,2	1,6	0,0	2,7	1,0	3,1
NO_x (mg/L)	0,13	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02
NH_4^+ (mg/L)	0,09	0,28	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
Cl^- (mg/L)	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	1,0	1,8
Conductivité (µS/cm)	22,4	31,0	20,8	9,5	21,0	20,3	28,0
COD (mg/L)	12,8	6,0	10,0	2,0	5,6	4,8	10,0
Ca^{2+} (mg/L)	2,1	2,8	2,4	1,0	1,6	1,5	1,8
Mg^{2+} (mg/L)	0,5	0,7	0,5	0,1	0,3	0,3	0,4
Na^+ (mg/L)	0,9	0,8	0,7	0,1	0,6	0,8	1,2
K^+ (mg/L)	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,7	1,3
Fe (mg/L)	0,56	1,30	0,30	0,06	0,14	0,48	0,87
F-Al (mg/L)	0,20	0,17	0,11	0,01	0,22	0,13	0,33
T-Al (mg/L)	0,23	0,20	0,14	0,01	0,28	0,25	0,45

ou égale à 0,4 mg/L de $CaCO_3$. Les eaux de surface de ces lacs acides étaient peu minéralisées, comme l'indiquent les faibles concentrations en cations majeurs et la conductivité inférieure à 28,0 µS/cm. De ce groupe, le lac Junior s'avérait le plus sensible à l'acidification en raison des concentrations extrêmement faibles de cations majeurs et d'alcalinité, ainsi que d'une conductivité inférieure à 10 µS/cm. Les lacs Matte et Dow, par contre, étaient moins touchés par l'acidité, bien que leur niveau de minéralisation ait été faible. L'intérêt du chaulage dans le cas de ces deux derniers lacs portait surtout sur l'accroissement de la productivité des eaux de surface.

En ce qui concerne les sulfates, les concentrations les plus élevées ont été observées dans les lacs Fontaine, du Milieu et des Pins. Ces plus fortes concentrations de sulfates pourraient s'expliquer par le fait que ces trois lacs sont situés plus au sud où les dépôts de sulfates sont plus élevés. Cette disparité pourrait également s'expliquer par des différences au niveau des périodes d'échantillonnage considérées pour chacun des lacs.

Au niveau des composés azotés (NO_X et NH_4^+), les concentrations étaient généralement faibles avant le chaulage des plans d'eau. Seuls les lacs Merrill et Dow font exception à cette règle. Dans le cas du lac Merrill, la concentration en nitrates et nitrites (NO_X) était plus élevée que dans les autres lacs, tandis que la concentration d'azote ammoniacal (NH_4^+) était particulièrement forte pour le lac Dow.

Les lacs Junior, Fontaine et du Milieu seraient peu touchés par la présence de matières organiques, puisque les concentrations de carbone organique dissous sont inférieures à 6 mg/L et que la couleur est inférieure ou égale à 22 unités Hazen. Ceci est particulièrement le cas pour le lac Junior avec une couleur de 7 unités Hazen. Les quatre autres lacs sont beaucoup plus riches en matières organiques puisque leur concentration de COD varie entre 6,0 et 12,8 mg/L et que la couleur va de 49 à 88 unités Hazen.

III.3 ÉVALUATION DES EFFETS DU CHAULAGE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

Dans les sections qui suivent, nous décrirons l'évolution inter-annuelle et intra-annuelle de la qualité des eaux des sept lacs chaulés en tentant de distinguer les effets du chaulage sur les composantes physico-chimiques. Cette description sera abordée selon trois thèmes principaux: l'acidité des lacs, la minéralisation induite par le chaulage et les effets sur les autres composantes de la qualité de l'eau. Cette qualité de l'eau est résumée à l'annexe 3, où la moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum sont présentés pour les échantillons intégrés de chacun des sept lacs chaulés et de chacun des 17 paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire.

Nous avons assumé que les échantillons recueillis avant le premier traitement à la calcite étaient représentatifs des conditions pré-chaulage du fait qu'aucune étude n'avait été menée sur la variabilité intra-annuelle de la qualité de l'eau des lacs suivis. Ces valeurs pré-chaulage serviront d'index de référence pour évaluer l'effet des traitements.

On peut néanmoins se poser la question à savoir si ces index ponctuels se rapprochent des valeurs moyennes. Par exemple, en se rapportant aux études de Magnan (1982) et Dupont (1986), qui ont tous deux étudié la variabilité annuelle de la qualité des eaux de surface de lacs de la région immédiate, il est possible d'affirmer que le niveau de minéralisation, le niveau d'acidité et le patron de variations annuelles de la plupart des paramètres chimiques répondent à des cycles saisonniers. Ainsi, au printemps, on assiste généralement à une baisse du niveau de minéralisation et à une augmentation de l'acidité des eaux de surface en raison de la fonte du couvert nival. Par contre, le niveau de minéralisation est plus élevé et le niveau d'acidité est plus faible en périodes d'étiage (été et hiver). D'autre part, l'activité biologique survenant à l'été a généralement tendance à accroitre le pH et à faire décroitre les concentrations de certains nutriments (NO_X, SiO_2, P, etc.). Finalement, le retournement des eaux survenant à l'au-

tomne amène une augmentation du niveau de minéralisation et un accroissement de la matière organique dans les strates d'eau supérieures du lac.

Dans le cas des lacs étudiés, aucun échantillon pré-chaulage n'a été recueilli lors de la fonte nivale. L'examen du tableau III.1 montre que les lacs Merrill et Dow ont été échantillonnés au mois de mars. Les échantillons pré-chaulage de ces lacs présentent probablement des niveaux de minéralisation légèrement supérieurs à la moyenne annuelle avec des conditions d'acidité un peu plus faibles que le pH moyen annuel. D'autre part, les lacs du Milieu, des Pins et Fontaine ont été visités à l'automne avant le retournement des eaux. Les valeurs des paramètres chimiques observés à ce moment de l'année sont probablement très proches des moyennes annuelles. Finalement, les lacs Matte et Junior ont été visités en été. Ceci implique que les valeurs de pH sont probablement supérieures à la moyenne annuelle, tandis que les valeurs de nitrates et de silice sont probablement sous-estimées.

III.3.1 Acidité des lacs

Les figures III.1 à III.7 présentent respectivement l'évolution de l'acidité dans les lacs Merrill, Dow, Matte, Junior, Fontaine, du Milieu et des Pins pour la période 1983-1987. Outre l'acidité, ces figures présentent également la variabilité de l'alcalinité et du calcium telle qu'observée dans les échantillons intégrés et de fond. La variabilité intra-annuelle des autres paramètres est présentée à l'annexe 4 (SO_4, couleur, conductivité, Mg, SiO_2, Al, COD et NO_X).

En supposant que les valeurs pré-chaulage sont représentatives des moyennes annuelles, le chaulage aurait entrainé une augmentation appréciable du pH (1,0 à 1,6 unité) et de l'alcalinité (4,7 à 12,6 mg/L) pour tous les lacs si on fait exception du lac Dow. Les augmentations auraient été plus faibles pour ce dernier qui était déjà peu acide préalablement au chaulage. Le chaulage aurait également entrainé une certaine baisse de l'aluminium filtré dans les lacs Merrill, Dow, et des Pins (0 à 100 µg/L).

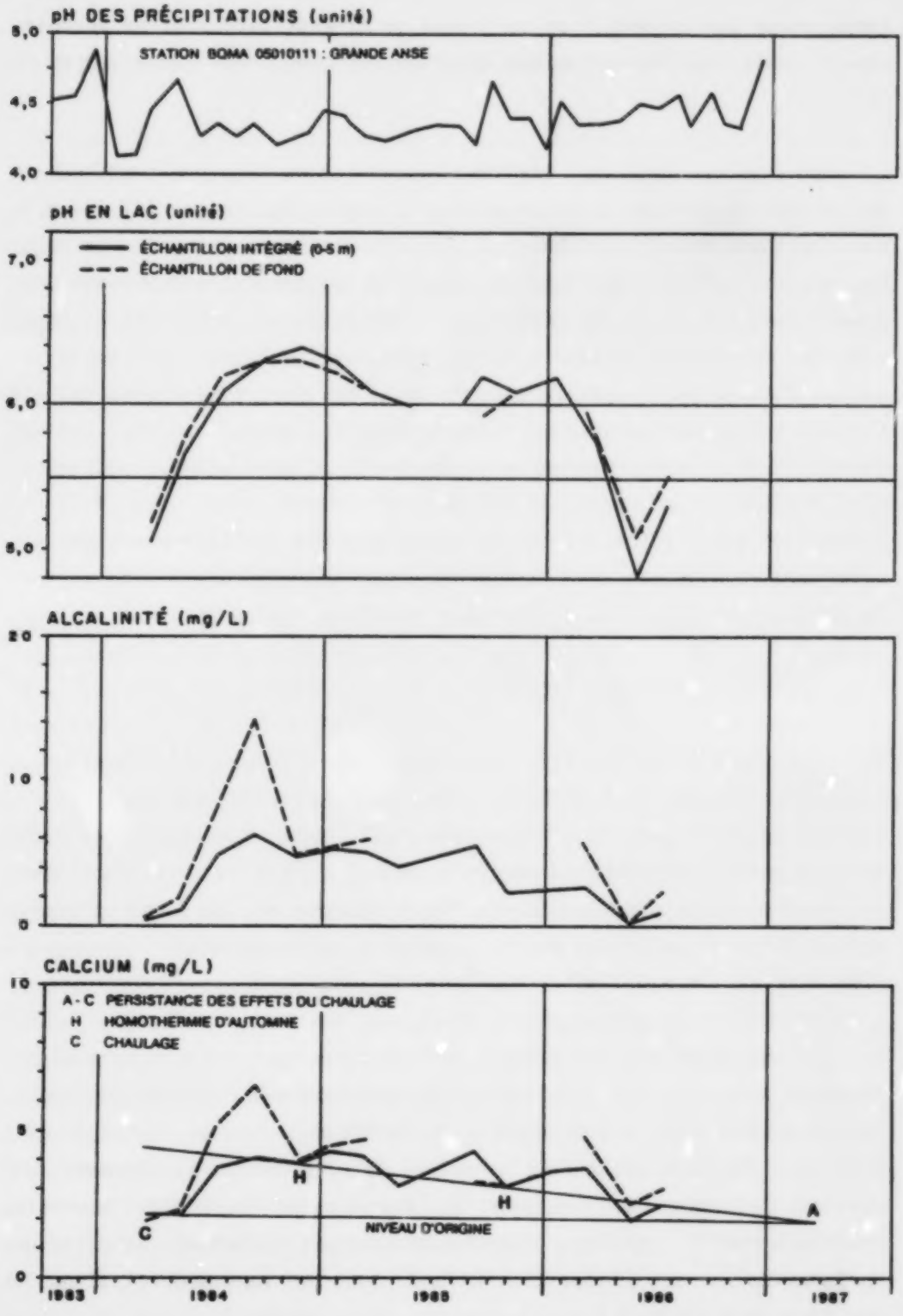


Figure III. 1. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC MERRILL.

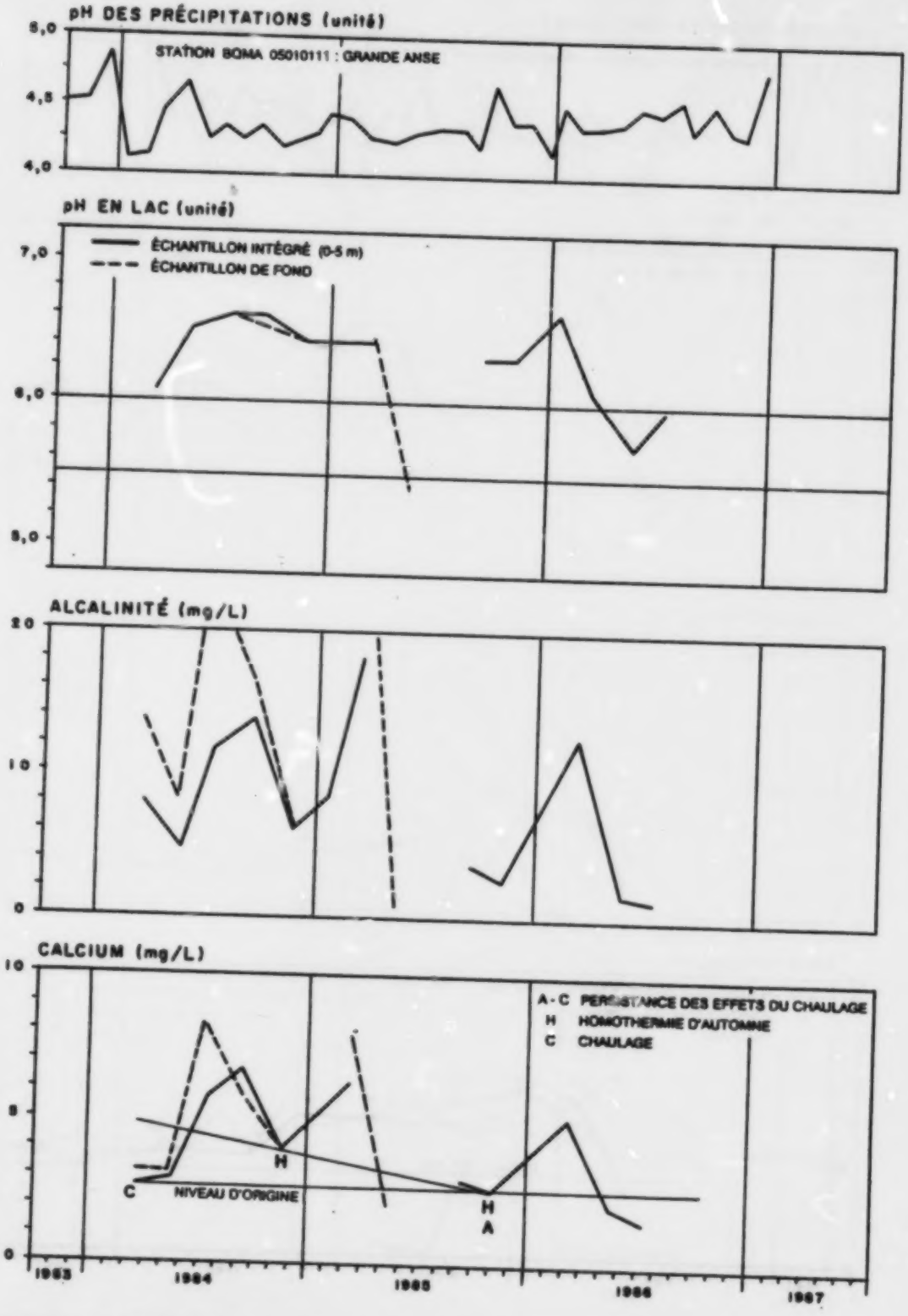


Figure III.2. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC DOW.

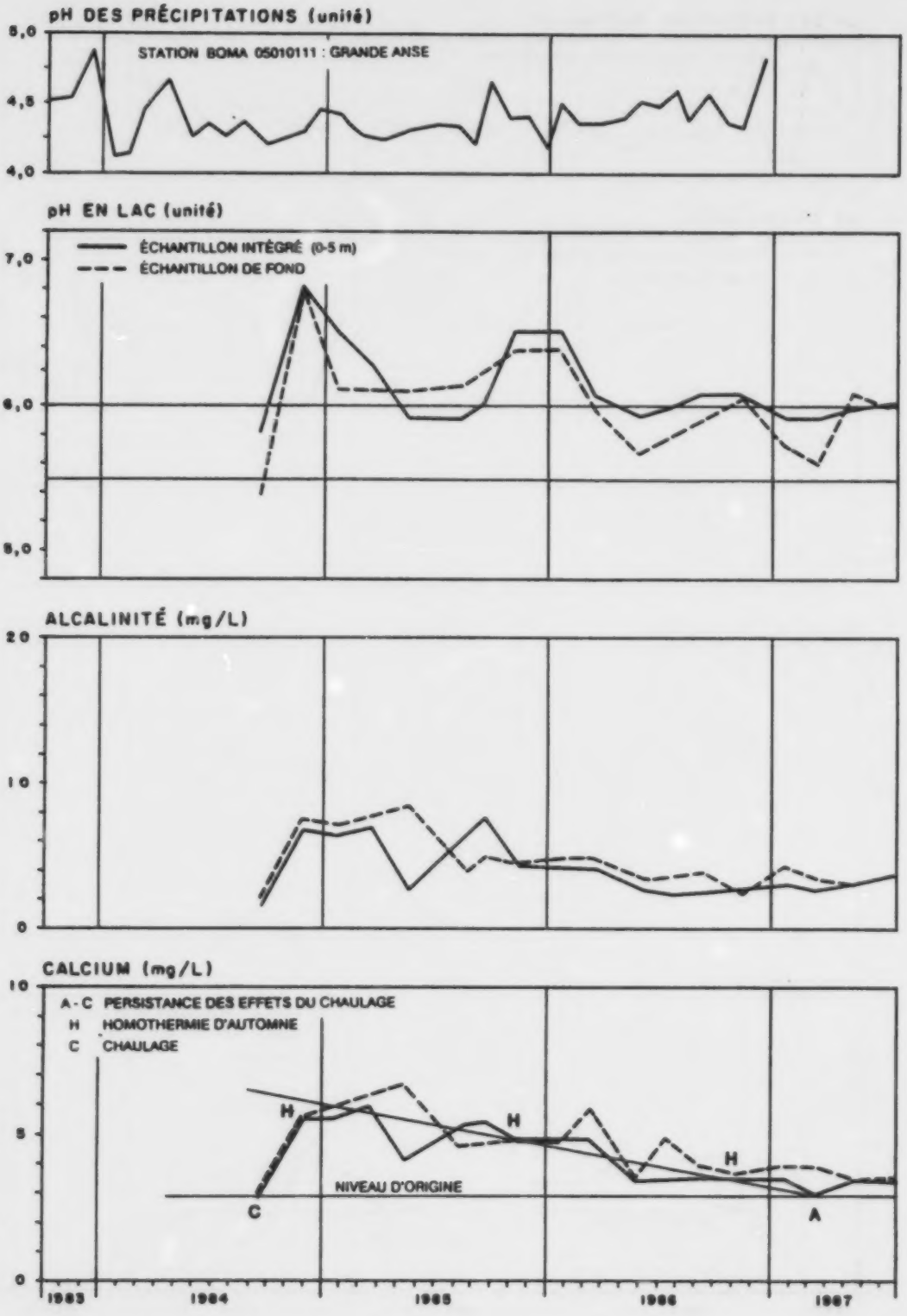


Figure III.3. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC MATTE.

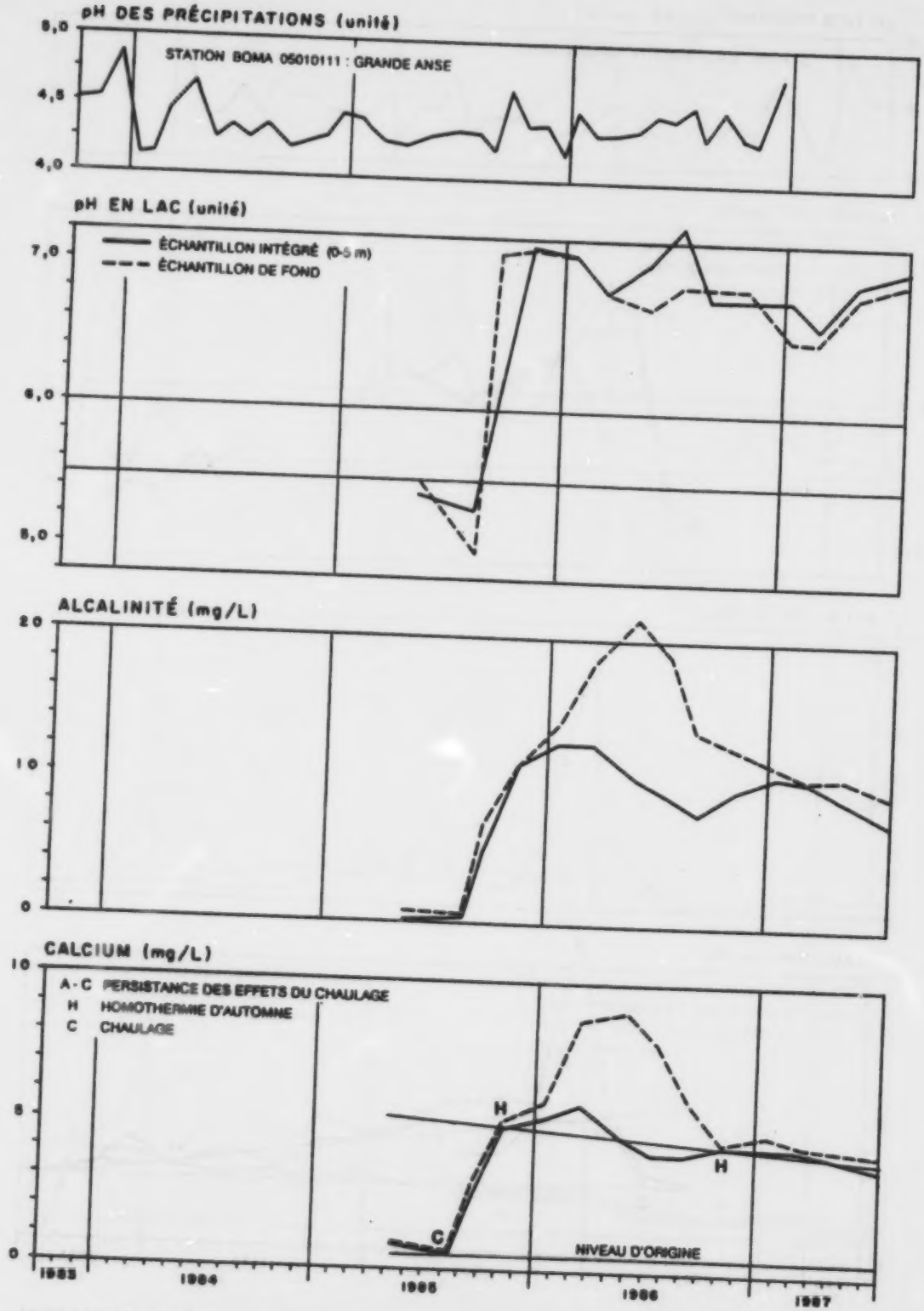


Figure III.4. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC JUNIOR.

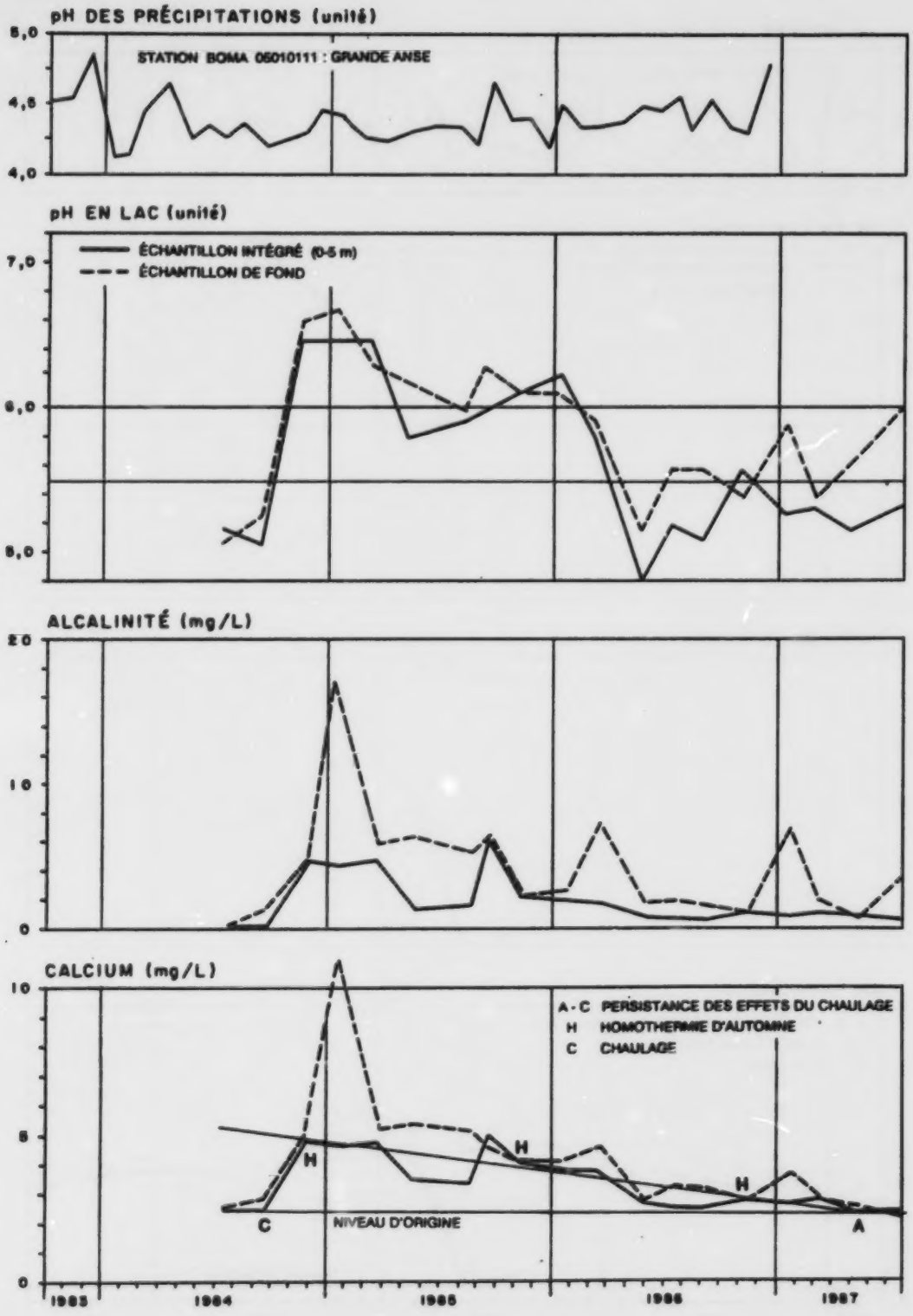


Figure III.5. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC FONTAINE.

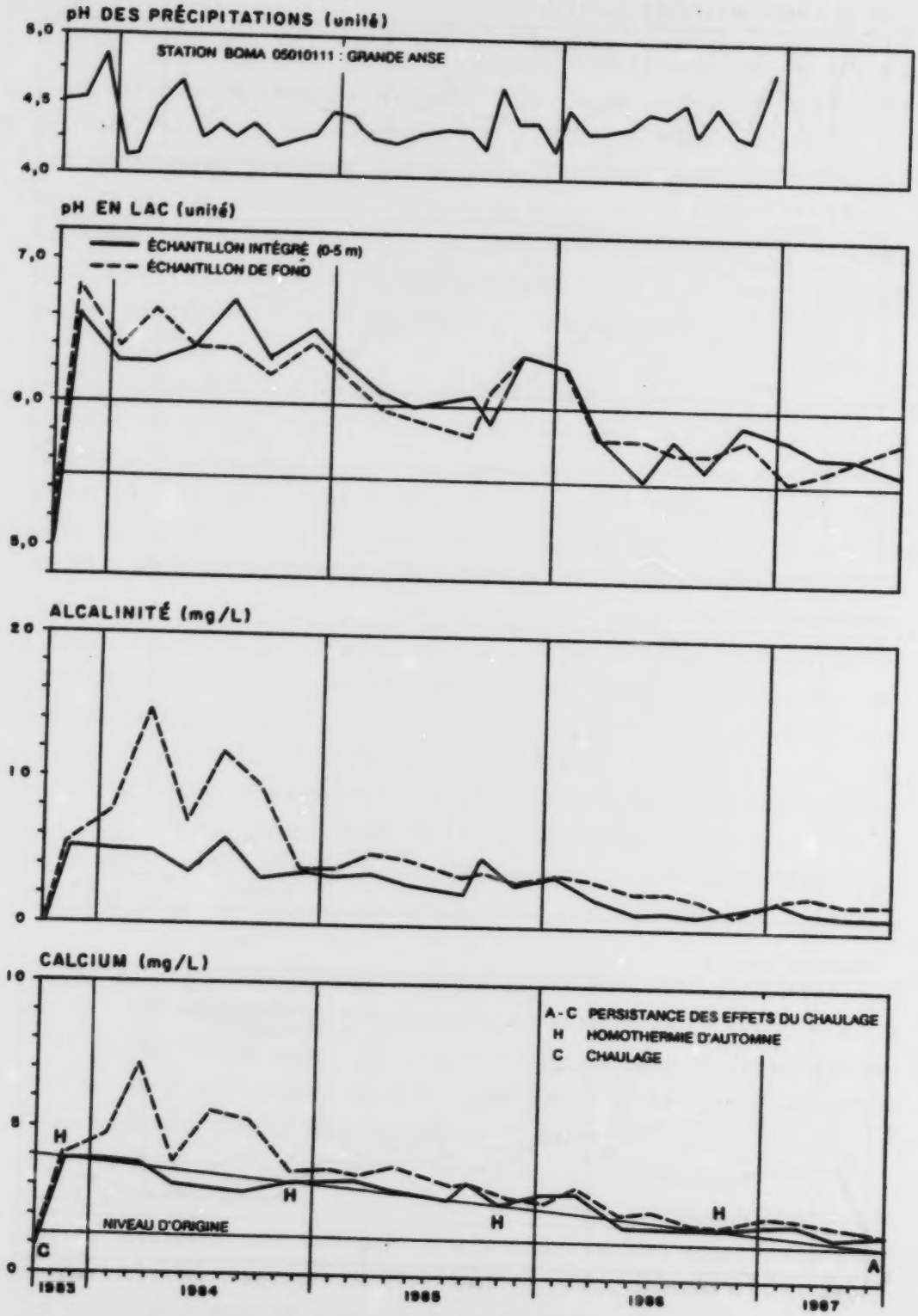


Figure III.6. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC DU MILIEU.

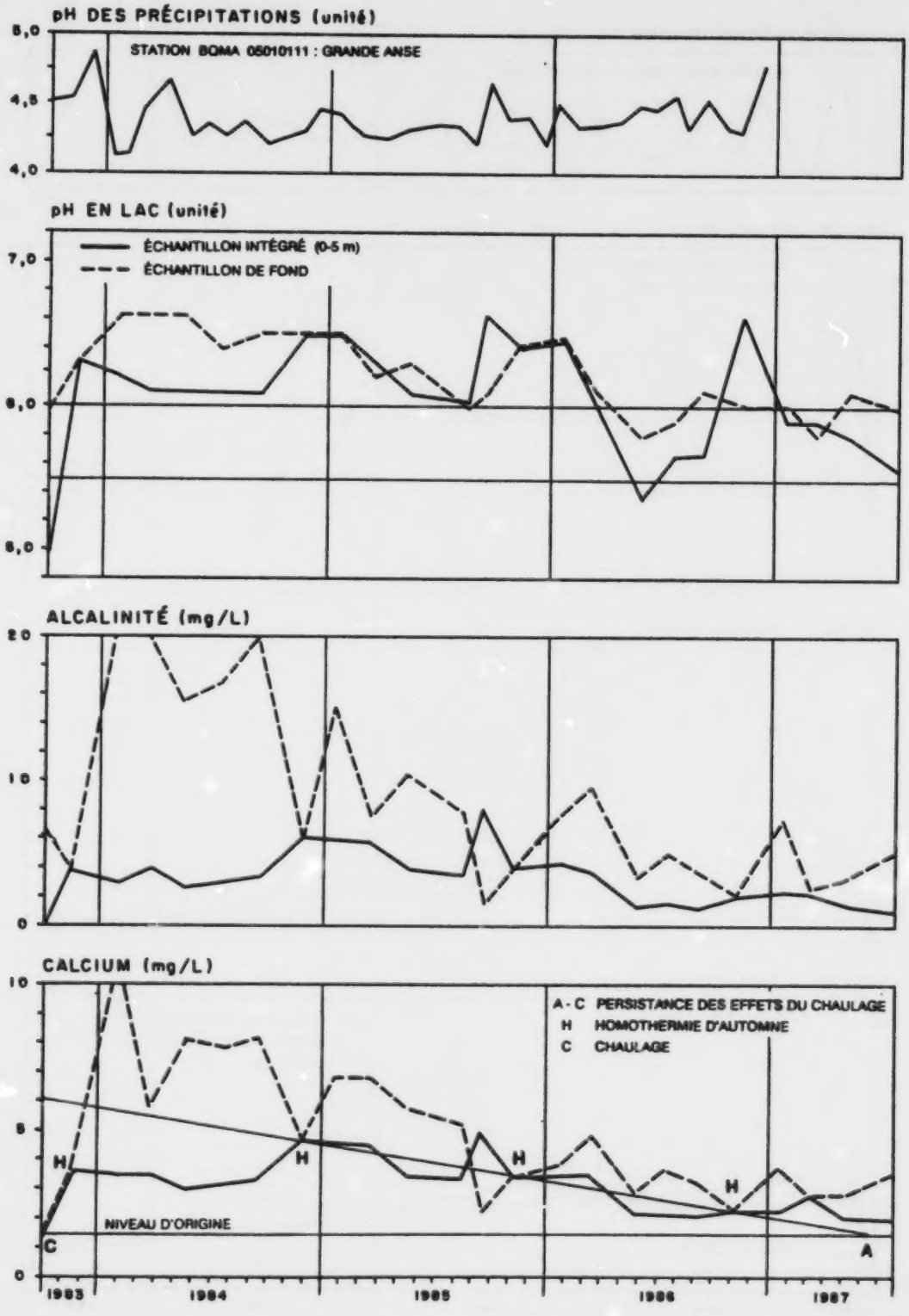


Figure III. 7. ÉVOLUTION TEMPORELLE DE L'ACIDITÉ, DE L'ALCALINITÉ ET DU CALCIUM AU LAC DES PINS.

La décroissance du pH et des valeurs d'alcalinité et de calcium s'est effectuée de façon différente selon le lac. Pour certains, tels les lacs Matte, du Milieu et des Pins, la baisse s'est déroulée de façon relativement graduelle avec le temps. Pour d'autres, tels les lacs Merrill et Fontaine, le pH, le calcium et l'alcalinité ont baissé plus rapidement en raison d'un temps de renouvellement des eaux plus court (0,3 et 0,4 année respectivement par rapport à 0,9-3,6 années pour les autres lacs, si on fait exception du lac Dow avec 0,3).

Les lacs ont tous montré des comportements similaires à certaines périodes de l'année. Il en est ainsi de la baisse de pH et d'alcalinité survenant au printemps et de l'augmentation de la valeur de ces paramètres à l'automne. Dans le premier cas, les baisses sont dues à un effet de dilution par des eaux de fonte plus acides et à un effet possible de la libération des polluants acides accumulés durant l'hiver dans le manteau nival. Dans le deuxième cas, l'accroissement des valeurs s'explique présumément par l'activité photo-synthétique accrue survenant en été, ainsi que par le retournement des eaux lacustres pendant la période automnale. Ce retournement permet le mélange des eaux peu minéralisées de l'épilimnion avec celles plus minéralisées de l'hypolimnion. Nous supposons que ce dernier mécanisme est d'autant plus important que le rapport volume de l'hypolimnion/volume de l'épilimnion est élevé. Ce mécanisme pourrait expliquer la hausse importante du pH observée à l'automne dans les lacs du Milieu et des Pins.

La baisse du niveau d'acidité due au retournement des eaux survenant à l'automne prend une importance particulière en ce qui a trait à l'efficacité du chaulage. En fait, ce mécanisme permettrait de maintenir un pH élevé pendant plus longtemps dans un lac ayant un volume d'eau important dans l'hypolimnion.

L'acidité des lacs peut provenir de deux sources majeures: une origine naturelle qui implique l'action des acides organiques, ainsi que des sulfates provenant de l'altération chimique des sulfures métalliques contenus dans le sous-sol du bassin versant, et une origine at-

mosphérique qui se traduit par l'action des polluants acides déposés sur le bassin et dans le lac.

Il est difficile de départager la portion d'acidité attribuable à chacune de ces contributions. Toutefois, l'examen des contributions relatives de sulfates, de bicarbonates (estimées à partir de l'alcalinité et du pH) et des anions organiques (estimées à partir du modèle d'Oliver et al. (1983)) permet de déterminer la dominance anionique d'une eau. Dans une telle approche, les concentrations de nitrates et autres anions mineurs sont considérées négligeables.

En supposant toujours que les valeurs pré-chaulage sont représentatives des moyennes annuelles, la majorité des lacs étudiés auraient présenté une dominance nette des sulfates avant le chaulage. Cette dominance aurait été particulièrement marquée pour les lacs des Pins, Fontaine, du Milieu, et Junior. Le lac Merrill, quant à lui, aurait présenté une dominance partagée entre les anions organiques et les sulfates, la dominance en sulfates survenant à la suite de la fonte nivale. C'est également une dominance organique qui aurait caractérisé le lac Matte. Le chaulage des plans d'eau aurait ainsi permis de diminuer la dominance en sulfates (-18 à -52 pour cent) et en anions organiques (- 3 à -21 pour cent) dans tous les lacs au profit d'une augmentation de la dominance en bicarbonates (+19 à +67 pour cent).

III.3.2 Minéralisation induite par le chaulage

L'examen des figures III.1 à III.7 montre que le chaulage à la calcite a provoqué un accroissement des concentrations en alcalinité (4,7 à 12,6 mg/L) et en calcium (2,0 à 5,2 mg/L). Ces hausses de calcium et d'alcalinité ont également été accompagnées d'une hausse de conductivité (0 à 24,7 µS/cm). Par contre, le chaulage n'a eu aucun effet sur les concentrations de silice, de magnésium, de sodium et de potassium (Annexe 4). De ces paramètres, on peut mentionner que la silice est soumise à un cycle annuel où les concentrations minimales correspondent à la période d'activité optimale des diatomées, et où les valeurs maximales surviennent généralement à l'étiage d'hiver.

Il est plus facile de décrire la variabilité temporelle de l'alcalinité et du calcium pour chacun des lacs:

MERRILL: Le lac Merrill a été chaulé sur glace à l'hiver 1984. Le niveau de minéralisation de ce lac a alors atteint son apogée à l'été de la même année (Figure III.1). L'alcalinité et le calcium ont alors présenté des concentrations beaucoup plus élevées en profondeur qu'en surface. Cette différence entre les niveaux de la colonne d'eau est disparue à la période de retournement des eaux à l'automne 1984. Après cette date, les concentrations observées en surface et dans le fond du lac ont été beaucoup plus rapprochées, bien que les concentrations aient continué d'être plus élevées en profondeur. En 1985, les niveaux d'alcalinité et de calcium sont demeurés élevés malgré une baisse significative des concentrations au printemps. Le printemps 1986 marque la fin de la persistance des effets du chaulage pratiqué en 1984, puisque une baisse très marquée de l'alcalinité et du calcium est survenue au printemps.

DOW: L'examen du lac Dow est rendu difficile par l'absence de données au printemps et à l'été 1985 (Figure III.2). Ce lac a été chaulé sur glace à l'hiver 1984. L'évolution intra-annuelle des concentrations de calcium et de l'alcalinité s'avère toutefois extrêmement fluctuante comme si le carbonate de calcium n'avait pas été répandu de façon homogène sur le lac. Néanmoins, les concentrations minimales ont été observées au printemps, tandis que le chaulage de 1984 semble avoir perdu de son efficacité après le printemps 1985.

MATTE: Le lac Matte a été chaulé à l'automne 1984 et les concentrations de calcium et d'alcalinité ont été relativement élevées sur toute la colonne d'eau dans les mois qui ont suivi cette opération (Figure III.3). Comme pour les autres lacs, la fonte nivale semble avoir taxé la capacité de neutralisation induite par le chaulage. Déjà au printemps 1986, le niveau de minéralisation

avait diminué passablement. À partir de l'automne 1985, il n'existait presque plus de différences entre le niveau de minéralisation des eaux de surface et de fond, ce phénomène étant dû à la faible profondeur du lac.

JUNIOR: Le lac Junior a été le dernier des sept plans d'eau étudiés à être chaulé. L'effet du chaulage sur ce lac a été extrêmement marqué, le pH passant de 5,4 à plus de 7,0 unités (Figure III.4). De plus, les concentrations de calcium et d'alcalinité ont atteint des niveaux très élevés sur toute la colonne d'eau, le maximum ayant toutefois été observé au fond du lac au mois de mai 1986. Une décroissance du niveau de minéralisation dans l'épilimnion est survenue lors du printemps 1986. Elle a été suivie d'une hausse à l'automne et d'une nouvelle baisse au printemps suivant. Selon cette figure, le chaulage de 1985 était encore efficace au mois de juillet 1987.

FONTAINE: Le lac Fontaine a été chaulé à l'automne 1984. L'efficacité de ce chaulage semble avoir été de courte durée, le pH étant déjà redescendu sous la barre des 6,0 unités (Figure III.5) au printemps 1985. Ce comportement est probablement lié au court temps de renouvellement des eaux du lac.

DU MILIEU: Le lac du Milieu a été chaulé à l'automne 1983. Outre une fluctuation importante des niveaux de calcium et d'alcalinité pendant l'année 1984, le niveau de minéralisation a diminué de façon relativement constante jusqu'en 1987 (Figure III.6). Les périodes de fonte nivale semblent les principales responsables de la baisse de la capacité de neutralisation, bien que la période de retournement des eaux à l'automne semble avoir ralenti le processus. Le chaulage aura été efficace (pH > 5,5) jusqu'au printemps 1986.

DES PINS: Le lac des Pins a été chaulé à la même période que le lac du Milieu. Contrairement à ce dernier, l'alcalinité et les concentrations de calcium se sont toutefois avérées beaucoup plus

fluctuantes (Figure III.7). Les baisses ont été particulièrement marquées aux périodes printanières, tandis que l'accroissement du niveau de minéralisation a été prononcé à l'automne. La durée efficace des effets du chaulage semble avoir été réduite par la fonte printanière de 1986, bien que les conditions d'acidité se soient améliorées à l'automne suivant. Toutefois, la fonte nivale de 1987 semble avoir diminué de beaucoup cette efficacité.

III.3.3 Effets sur les autres composantes de la qualité de l'eau

L'examen des figures présentées à l'annexe 4 montre qu'en général le chaulage et l'accroissement du pH des lacs n'auraient pas eu d'effet significatif sur les paramètres suivants: SO_4, NH_4, SiO_2, Mg, Na, K, Cl et Fe. Toutefois, le chaulage semble avoir eu un effet sur les nitrates + nitrites, la couleur et le COD dans les lacs Matte, du Milieu et des Pins. En effet, il y a eu une augmentation des concentrations de NO_X dans les deux années qui ont suivi le chaulage de ces lacs (0,20 à 0,30 mg/L). Ainsi, les concentrations en nitrates + nitrites sont passées de moins de 0,05 mg/L, en 1984 pour le lac Matte et en 1983 pour les lacs des Pins et du Milieu, à près de 0,30 mg/L à l'été 1985. Les concentrations ont recommencé à décroître par la suite pour revenir en 1987 aux niveaux observés antérieurement au chaulage. L'augmentation de cet indicateur du niveau de productivité pour les eaux de surface des lacs Matte, du Milieu et des Pins semble avoir été accompagnée d'une légère hausse de la couleur (10 à 40 Hazen) et du carbone organique dissous (0 à 5 mg/L). Toutefois, cette hausse étant beaucoup moins marquée que pour les nitrates, il est possible que le comportement observé pour ces paramètres soit dû à leur variabilité intra-annuelle.

IV. ÉVALUATION DE LA MÉTHODOLOGIE DU CHAULAGE

IV.1 DOSAGE, QUALITÉ DU PRODUIT ET TECHNIQUES DE CHAULAGE

IV.1.1 Qualité du produit utilisé

Calco Inc. a été le fournisseur pour tous les projets impliquant l'utilisation de calcite ($CaCO_3$). Les carrières de cette entreprise sont situées à Saint-Marc-des-Carrières. Il n'y a pas eu d'analyse spécifique de la calcite livrée pour le chaulage, mais il existe des normes provinciales pour le produit d'appellation "chaux agricole" (Anonyme, 1980). Ces normes définissent la finesse de la mouture et sa capacité neutralisante qui doit être supérieure à 85 pour cent en équivalent de carbonate de calcium. Le tableau IV.1 montre le résultat des analyses disponibles pour la calcite de ce fournisseur. La calcite provenant de la strate supérieure du gisement sert à la production d'agrégats pour la construction de routes, alors que celle provenant des deux strates sous-jacentes est vendue sous l'appellation "chaux agricole". En ce qui a trait à la mouture, 95 pour cent du matériel doit passer au travers d'un tamis de 2 mm, alors que 40 pour cent de la calcite doit passer au travers d'un tamis 0,15 mm.

En ce qui a trait à la finesse du matériel, des moutures de types "chaux agricole" et "chaux horticole" ont été utilisées lors des chaulages. Dans le premier cas, 96 pour cent de la chaux agricole passait au travers du tamis de 2 mm et entre 53 et 54,2 pour cent de cette chaux passait au travers du tamis de 0,15 mm selon l'analyse faite par Roche Envirolab pour fin de certification en 1985. Il n'y a pas eu de certification dans le cas de la chaux horticole. Toutefois, nous savons que la qualité horticole contient une fraction fine plus importante que la qualité agricole. Le tableau IV.2 présente les valeurs moyennes de 1987 pour les deux moutures. Ces valeurs varieraient peu dans le temps selon Michel Hamelin, technicien responsable chez Calco Inc. (Communication personnelle).

Tableau IV.1 Analyse chimique de la calcite provenant des carrières de Calco, exprimée en pourcentage. Centre de recherches minérales du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, 1981.

PARAMÈTRES	ÉTAGE-1[1]	ÉTAGE-2[2]	ÉTAGE-3[3]
SiO_2	2,11	0,50	1,25
Al_2O_3	0,44	0,21	0,31
$MgCO_3$	1,02	0,77	0,76
MgO	0,56	0,37	0,36
Mg	--	0,28	0,22
$CaCO_3$	93,95	96,12	94,69
CaO	65,21	53,83	53,03
Ca	53,17	38,45	37,88
P_2O_5	0,25	0,26	0,07
S	0,16	0,08	0,10
Fe_2O_3	0,19	0,17	0,23
P.A.F.[4]	45,06	43,20	42,98

1 Calcaire gris foncé de la strate supérieure.
2 Calcaire pur en lits épais, strate médiane.
3 Calcaire à haute teneur, strate inférieure.
4 Perte au feu.

Tableau IV.2 Granulométrie des moutures agricole et horticole de la calcite chez Calco Inc. (1987).

MAILLE DU TAMIS (microns)	CHAUX AGRICOLE (pourcentage non retenu)	CHAUX HORTICOLE (pourcentage non retenu)
2 000	100,0	--
630	79,9	100,0
315	66,1	92,6
160	53,9	60,3
80	39,6	32,4

IV.1.2 Calcul du dosage

Lors d'un premier chaulage survenu au lac Junior en 1981, 1,113 tonne métrique de chaux hydratée ($Ca[OH]_2$) a été utilisée, ce qui représentait une concentration de 14,3 g/m^3. Ce chaulage fut réalisé en deux étapes. La première l'a été avec un dosage de 10,3 g/m^3, tel que suggéré pour les lacs à eaux claires de l'État de New York (25 lbs/acre-pied; M. Pfeiffer, communication personnelle). Une seconde étape a été nécessaire pour rehausser le pH jugé encore trop faible.

Une teneur de 20 g/m^3 en calcite a été utilisée pour la majorité des autres lacs chaulés, tel que suggéré dans le rapport de Bengtsson et al. (1980). En Suède, la norme d'application était alors basée sur la charge acide reçue (50 à 75 kg/ha/an) en fonction de la superficie du bassin versant. La concentration de calcite requise pour neutraliser cette charge acide et assurer une capacité tampon adéquate pour le lac variait de 10 à 20 g/m^3. Il n'était toutefois pas fait mention de la qualité du produit utilisé, sauf en ce qui concernait son pouvoir neutralisant. Afin de prévenir les pertes possibles de calcite lors de la fonte nivale, les lacs chaulés sur glace ont reçu une dose supérieure dont le calcul a été basée sur la superficie du bassin versant plutôt que sur le volume d'eau du plan d'eau. Les doses de calcite utilisées sont présentées au tableau IV.3 pour tous les lacs chaulés.

IV.1.3 Réalisation technique

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le chaulage des lacs étudiés. Le tableau IV.3 en fait la présentation. La chaux hydratée ($Ca[OH]_2$) n'a été utilisée qu'au lac Junior en 1981, la calcite étant considérée pour tous les chaulages subséquents. L'épandage manuel se faisait à l'aide de pelles qui servaient à disperser la calcite. Une tentative d'assurer une couverture totale de la surface des lacs Dow et Merrill sur couvert de glace fut effectuée avec cette approche, bien que le produit ne soit entré au contact de l'eau qu'au moment de la fonte printanière. Quant à la méthode par pré-dissolution, elle était

Tableau IV.3 Méthodes de traitement des lacs chaulés.

NOM	PRODUIT	MOUTURE	DOSE g/m^3	DATE	MÉTHODE D'ÉPANDAGE
Boiteau	$CaCO_3$	agricole	20	été 1986	pré-dissoute en chaloupe
Dow	$CaCO_3$	agricole	57	hiver 1984	manuelle sur glace
Fontaine	$CaCO_3$	agricole	20	automne 1984	pré-dissoute en chaloupe
Fontaine	$CaCO_3$	agricole	20	été 1987	pré-dissoute en chaloupe
Lise	$CaCO_3$	agricole	20	automne 1984	manuelle en chaloupe
Reine	$CaCO_3$	agricole	20	automne 1984	manuelle en chaloupe
Vase	$CaCO_3$	agricole	20	automne 1984	manuelle en chaloupe
Junior	$Ca[OH]_2$		14	été 1981	manuelle en chaloupe
Junior	$CaCO_3$	agricole	25	été 1985	manuelle en chaloupe
Matte	$CaCO_3$	horticole	20	automne 1984	pré-dissoute en chaloupe
Merrill	$CaCO_3$	agricole	81	hiver 1984	manuelle sur glace
Milieu	$CaCO_3$	agricole	20	automne 1983	pré-dissoute en chaloupe
Pins	$CaCO_3$	agricole	24,7	automne 1983	pré-dissoute en chaloupe

caractérisée par l'utilisation d'un baril alimenté par une pompe à fort débit, monté sur un radeau arpentant le lac. Le détail de la réalisation technique est présenté à l'annexe 5.

IV.2 PARAMÈTRES UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION

Seules les données physico-chimiques analysées par le laboratoire du ministère de l'Environnement ont été utilisées pour l'évaluation des effets du chaulage. Nous avons ainsi exclu les données de terrain disponibles de l'interprétation. Ceci s'explique par le fait que s'il existe des différences significatives entre les méthodes analytiques de deux laboratoires reconnus pour l'analyse des mêmes échantillons (Dupont et Simonin, 1986), à plus forte raison nous ne pouvons comparer des données de terrain avec des données de laboratoire sans validation préalable. D'autre part, nous tenons à rappeler que nous supposons que les valeurs pré-chaulages observées sont représentatives des valeurs moyennes annuelles (voir section III.3).

La perte en calcium à l'émissaire a été estimée par la concentration de calcium dans l'échantillon intégré (0-5 mètres) et le débit du lac. Les données du régime hydrologique de ces plans d'eau n'étant pas disponibles, l'estimation de données théoriques à partir du patron de distribution des précipitations locales et le recours aux données provenant de bassins versants voisins nous ont permis d'obtenir une image approximative des valeurs réelles et de l'étendue de leurs variations (Voir annexe 1). Toutefois, nous sommes conscients que l'utilisation de données provenant de régions voisines ne permet pas de tenir compte des différences physiques entre bassins versants (superficie, dépôts de surface, pente, etc.), ces dernières pouvant avoir une grande influence sur la réponse hydrologique.

Dans l'étude actuelle, le mois a été retenu comme unité de temps, tandis que la ventilation du débit annuel de chaque bassin a été basée sur celle de la rivière La Croche. Dans le cas de mois où il n'y avait pas eu d'échantillonnages physico-chimiques, les concentrations de cal-

cium dans les eaux d'écoulement ont été considérées égales à celles mesurées lors de l'échantillonnage suivant.

IV.3 EFFICACITÉ DU TRAITEMENT

Il existe plusieurs façons d'évaluer l'efficacité d'un chaulage. La première concerne la durée efficace du traitement. Dans l'optique du présent document, la durée efficace de l'effet d'un chaulage est atteinte lorsque le pH originellement acide descend sous le seuil de 5,5 unités. D'autre part, la persistance des effets d'un chaulage peut se définir comme le temps requis au calcium pour revenir à la concentration d'origine (valeur pré-chaulage). Une autre facette de l'efficacité du chaulage peut être exprimée comme la mesure dans laquelle les conditions pré-chaulage se sont améliorées. Finalement au simple plan de la rentabilité, la proportion de calcite utilisée permet de raffiner l'analyse coûts-bénéfices de l'opération. Les sections suivantes permettront d'évaluer les diverses méthodes et produits utilisés.

IV.3.1 Effet instantané

L'augmentation de la concentration en calcium dans l'eau immédiatement après le chaulage est une mesure de la qualité du traitement. Cette mesure n'est toutefois pas disponible pour les lacs étudiés puisqu'il s'est écoulé un laps de temps entre le chaulage et l'échantillonnage subséquent. Nous avons néanmoins considéré la valeur de calcium mesurée lors de cette échantillonnage comme indice de la dissolution instantanée, bien qu'elle puisse être moindre que la concentration réelle qui aurait pu être observée consécutivement au chaulage. Le tableau IV.4 présente le laps de temps écoulé entre le chaulage et l'échantillonnage, les concentrations de calcium observées avant et après le chaulage (intégré 0-5 mètres), ainsi que le rapport quantité de calcite dissoute versus quantité totale épandue (dissolution instantanée).

Le laps de temps séparant le chaulage du premier échantillonnage subséquent varie de 14 à 69 jours et est inconnu dans le cas des lacs

Tableau IV.4 Concentration de calcium avant et après chaulage et proportion des quantités en solution sur les quantités ajoutées (échantillon intégré).

NOM	DÉLAI[1] (jours)	[Ca] (mg/L)		DOSE [Ca][2] (mg/L)	DISSOLUTION INSTANTANÉE (pourcentage)
		AVANT	APRÈS		
Dow	N.D.	2,8	3,1	21,77	1,4
Fontaine	69	1,6	4,0	7,64	31,4
Junior	17	0,8	4,6	9,55	39,8
Matte	14	2,4	4,5	7,64	27,5
Merrill	N.D.	2,1	2,3	30,94	0,6
Milieu	19	1,5	3,9	7,64	31,4
Pins	18	1,8	3,7	9,42	20,2

1 Intervalle (jours) entre le chaulage et le premier échantillonnage.
2 Quantité de calcium ajoutée (en mg) par litre d'eau dans le lac.
N.D. Non déterminé

chaulés sur la glace. La perte en calcium ne peut être reliée de façon linéaire avec ce laps de temps, puisque l'échange d'eau varie grandement d'un lac à l'autre.

La dissolution instantanée s'est avérée variable d'un lac à l'autre. Les lacs Merrill et Dow, qui ont été chaulés sur glace, montrent une dissolution très faible de l'ordre de un pour cent. Viennent ensuite le lac des Pins (20 pour cent), les lacs Fontaine, Matte et du Milieu (30 pour cent) et finalement le lac Junior (40 pour cent). Ces résultats sont consistants avec la méthode employée, car la concentration maximale de calcium ne survient pas toujours immédiatement après le chaulage comme semblent l'indiquer les figures III.1 à III.7.

Aux lacs Dow, Merrill et Junior, l'augmentation des concentrations de calcium est graduelle et n'atteint son maximum que plusieurs mois après le chaulage (près d'un an pour le lac Junior). Dans les deux premiers cas, la calcite déposée sur la glace n'est entrée en contact avec l'eau qu'au moment de la fonte. Une faible turbulence des eaux a pu faire en sorte que le produit se dépose en grande partie au fond du lac. Au lac Junior, l'épandage a été réalisé manuellement avec de la calcite sèche. La dissolution n'a donc pas été "favorisée" comme ce fut le cas pour les lacs où il y a eu pré-dissolution. Il est très difficile d'évaluer l'efficacité d'un traitement dans un tel cas (Junior). Toutefois, on peut présumer que la concentration maximale observée au mois de mars 1986 dans le lac Junior, où l'échange d'eau est lent, donne une idée relativement précise du taux de dissolution (52,4 pour cent). Il y a évidemment eu perte de calcium aux lacs Dow et Merrill, où l'échange d'eau est rapide, cette perte étant associée en grande partie à la crue printanière. La concentration résiduelle, basée sur les valeurs maximales, indique une dissolution d'au moins 18,4 et 6,8 pour cent respectivement. Ces valeurs devraient être en-deçà de la dissolution réelle, bien qu'il soit impossible de savoir dans quelle proportion. Ces résultats semblent aller à l'encontre des conclusions de Sverdrup et Bjerle (1983), selon lesquelles la dissolution instantanée représente la plus grande part de la dissolution totale. Il faut cependant tenir compte que l'évaluation de la dissolution instantanée est

tardive dans le cas des lacs chaulés sur glace, et qu'elle est subséquente à la crue printanière.

Le lac Junior se démarque des autres lacs à plus d'un point de vue. Il est caractérisé par de faibles valeurs de couleur et de carbone organique dissous (annexe 3). Ce fait laisse croire que les acides organiques s'y trouvent en faibles concentrations, ce facteur pouvant avoir une influence sur la réactivité de la calcite. Notons aussi que ce plan d'eau possède l'échange d'eau le plus lent parmi ceux étudiés et que l'échantillonnage suit de près le chaulage (17 jours).

Dans le cas des quatre lacs chaulés avec de la calcite pré-dissoute, les différences en efficacité pourraient être imputables à la vitesse d'épandage et au type de mouture utilisé. Le tableau qui suit résume ces données:

Tableau IV.5 Vitesse d'épandage, mouture et dissolution instantanée du chaulage avec de la calcite prédissoute.

NOM DU LAC	TAUX HORAIRE (t/h)	MOUTURE	DISSOLUTION EN POURCENTAGE
Fontaine	1,0	Agricole	31,4
Matte	0,8	Horticole	27,5
du Milieu	0,7	Agricole	31,4
des Pins	2,0	Agricole	20,2

Il faut signaler que le taux horaire présenté au tableau IV.5 est une estimation grossière, du fait que la préparation, les pannes et autres incidents ne peuvent être dissociés du temps consacré à l'épandage proprement dit. Ce facteur semble toutefois responsable du taux de dissolution instantanée moindre observé au lac des Pins.

Le type de mouture peut également représenter un facteur important pouvant influencer la dissolution instantanée. Par exemple au lac Mat-

te, l'épandage a été fait à la fois avec de la calcite pré-dissoute et de la calcite sèche. Le taux de dissolution moindre du procédé, associé à l'emploi de calcite sèche pourrait avoir été compensé par l'utilisation de la mouture horticole dont la dissolution est plus facile. D'ailleurs, c'est le seul lac parmi les quatre où le procédé de pré-dissolution a été utilisé, à montrer une hausse de la concentration de calcium après le premier échantillonnage suivant le chaulage. L'efficacité, évaluée d'après la concentration maximale observée, passe à 32,7 pour cent, mettant ainsi en évidence l'influence de la pré-dissolution sur l'impact initial du chaulage.

IV.3.2 Persistance du traitement

La détermination de l'efficacité peut être faite par l'étude de la durée efficace et de la persistance des effets d'un chaulage. Tel que mentionné précédemment, la durée efficace rend compte du temps requis au pH d'un lac originellement acide pour redescendre sous un seuil de 5,5 après le chaulage (en autant que le pH ait grimpé au dessus de 5,5 après le chaulage), tandis que la persistance des effets rend compte du temps requis à la concentration de calcium pour rejoindre sa valeur pré-chaulage. Dans certains cas, la concentration de calcium post-chaulage s'est s'avérée inférieure à la valeur d'origine. Au lac Matte, cette différence est minime (0,1 mg/L), mais elle atteint 1,1 et 0,4 mg/L dans les lacs Dow et Merrill. Comme il a été mentionné précédemment, les valeurs pré-chaulage ne sont pas nécessairement représentatives des moyennes annuelles. C'est ce qui peut expliquer les écarts observés entre celles-ci et les valeurs post-chaulage. Dans le cas du lac Dow, la faible profondeur de l'eau rendait le prélèvement difficile et l'échantillon était souvent souillé par des sédiments provenant du fond.

La concentration de calcium observée dans l'échantillon intégré augmente graduellement dans le lac des Pins et atteint son maximum pendant la deuxième année qui suit le chaulage. Ce comportement le distingue nettement des autres lacs et est probablement lié à la plus grande vitesse d'épandage (Tableau IV.5). Ce maximum survient juste à la pé-

riode de retournement des eaux (homothermie) où survient le mélange des eaux de l'épilimnion et des eaux plus minéralisées de l'hypolimnion. La source de cette minéralisation plus marquée des eaux de l'hypolimnion serait d'ailleurs principalement attribuable à la calcite qui s'est déposée sur le fond lors du chaulage. Ce phénomène peut être également observé chez certains autres lacs, mais pas de façon aussi marquée.

Malgré le fait qu'il soit reconnu que cet excédent de calcite reposant au fond du lac représente un avantage à moyen terme, certains auteurs, dont Sverdrup (1985), le considèrent très limité à cause de la sédimentation d'une part et de la diffusion freinée par la stagnation des eaux de fond. Toutefois, l'homothermie automnale permet de remettre en circulation des eaux qui ont été en condition stagnante pendant les périodes précédant la stratification thermique, rendant ainsi la calcite disponible pour la neutralisation de l'acidité. C'est l'opinion de Gunn (1986), qui mentionne que les eaux plus minéralisées de l'hypolimnion peuvent amoindrir l'impact de chocs acides lors de périodes critiques. Seul le lac Dow ne possèderait pas un tel mécanisme de protection du fait qu'il est insuffisamment profond pour que s'établisse une stratification thermique.

Comme mentionné précédemment, les figures III.1 à III.7 présentent l'évolution temporelle des concentrations de calcium observées dans les échantillons intégrés et de fond. Sur ces mêmes figures, les concentrations de calcium observées en périodes d'homothermie automnale ont été reliées par une droite empirique qui permet d'estimer grossièrement le moment où l'effet du chaulage a ou aura disparu totalement. Exception faite du lac des Pins, il est à remarquer que la diminution de la concentration de calcium est presque parfaitement linéaire dès le premier échantillonnage post-chaulage. Cette relation n'est pas strictement temporelle, car le régime hydrologique varie d'une année à l'autre, et c'est ce dernier facteur qui est responsable de la concentration résiduelle du calcium.

La tableau IV.6 présente la pente des droites empiriques à partir desquelles peut être estimée la persistance des effets du traitement

([Ca] pré-chaulage ≤ [Ca] post-chaulage). Dans le cas des lacs chaulés à l'été, on considère que la perte en calcite à l'émissaire, survenant avant l'homothermie, est relativement minime par rapport à la durée totale. Dans le cas des lacs Dow et Merrill, il faut rajouter six mois à la persistance des effets car le chaulage a été effectué le printemps précédent.

Tableau IV.6 Persistance des effets du chaulage selon la tendance de la concentration du calcium à l'homothermie automnale.

LACS	TEMPS DE RENOUVELLEMENT	PENTE [Ca]	PERSISTANCE DES EFFETS	DURÉE EFFICACE DES EFFETS
Merrill	0,25	-0.95	3,1	2,0
Dow	0,31	-1,70	1,9	1,0
Fontaine	0,39	-1,05	2,2	1,5
Matte	0,87	-0,95	2,6	>2,5
du Milieu	0,99	-0,65	3,8	2,5
des Pins	1,41	-0,95	4,2	2,5
Junior	2,50	-0,50	8,5	>1,5

La figure IV.1 présente la relation qui existe entre le temps de renouvellement des eaux et la persistance estimée des effets du chaulage. L'équation de régression a été calculée en excluant les lacs Dow et Merrill, du fait que la concentration en $CaCO_3$ pour ces lacs a été beaucoup plus importante que celle des autres plans d'eau (57 et 81 g/m^3 par rapport à 20-25 g/m^3). La relation entre le temps de renouvellement et la persistance estimée des effets du chaulage s'est avérée relativement forte (r^2 = 0,95).

La position des plans d'eau par rapport à la droite de régression peut être expliquée par divers facteurs. Le lac du Milieu, par exemple, reçoit les eaux du lac des Pins. L'eau en provenance de cette partie du bassin versant est donc partiellement tamponnée. La délimitation imprécise des bassins versants, due à la présence de marécages par exemple,

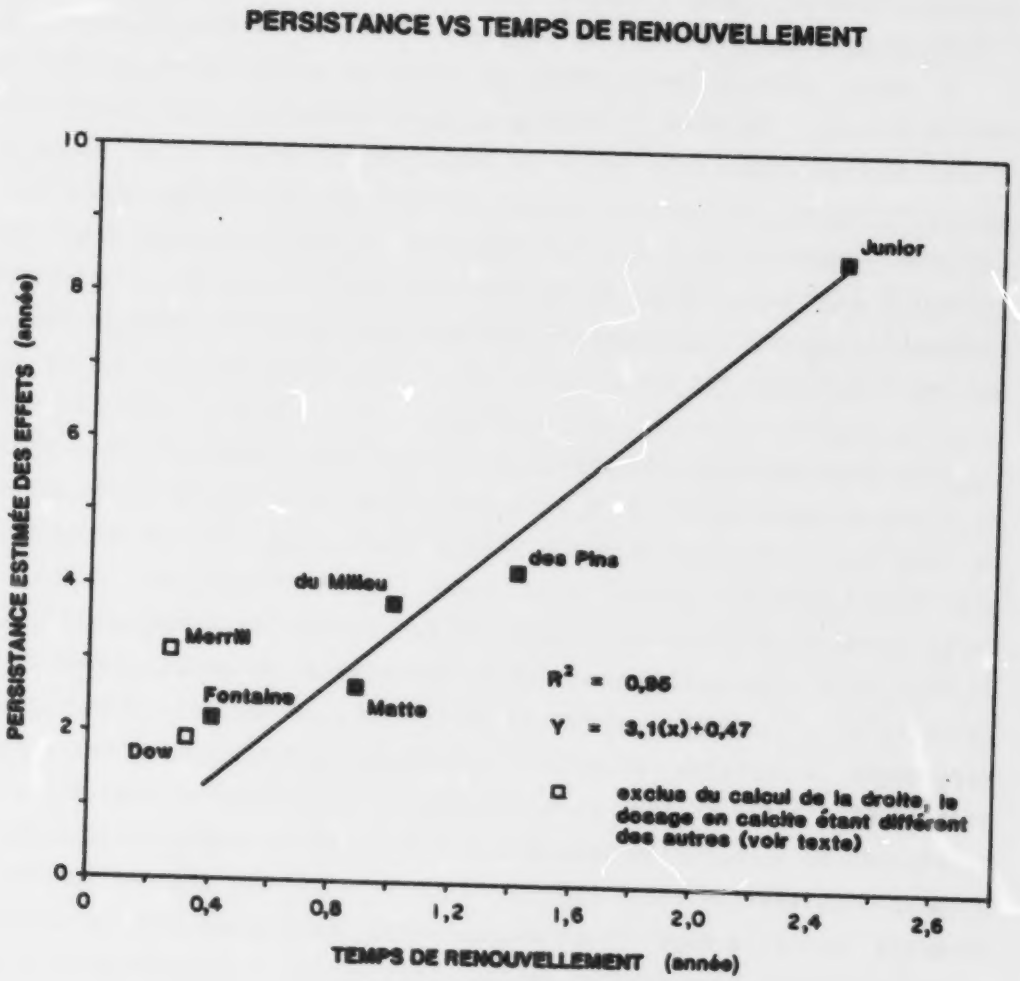


Figure IV.1 RELATION ENTRE LE TEMPS DE RENOUVELLEMENT ET LA PERSISTANCE ESTIMÉE DES EFFETS DU CHAULAGE.

est un autre facteur pouvant expliquer la différence entre la persistance des effets du chaulage (Tableau IV.6) et la valeur prédite par l'équation de régression (Figure IV.1). Il est également possible que la relation entre le temps de rétention et la persistance des effets du chaulage ne soit pas linéaire. Dans ce sens, Wisniewski et al. (1985) avaient d'ailleurs déduit que la dose initiale de calcite devait être rehaussée pour des lacs dont le temps de rétention des eaux était long (> 2 ans), afin de tenir compte de la charge acide en provenance du bassin versant. De même, Sverdrup et al. (1985) ont noté l'existence d'une relation sigmoïdale entre le temps de rétention et le temps de réacidification. Ils avaient toutefois noté que la relation était passablement imprécise pour les lacs dont le temps de rétention était inférieur à six mois. Dans le cas des lacs étudiés, la réacidification différentielle n'est pas apparue évidente pour les lacs dont le renouvellement des eaux est long.

La durée efficace des effets d'un chaulage, quant à elle, dépend de l'ampleur des événements épisodiques comme le choc acide printanier. On juge que le chaulage perd son efficacité lorsque les eaux ne peuvent plus être tamponnées adéquatement, même si ce phénomène est de courte durée comme durant la fonte nivale. Cette considération se justifie par le fait qu'au plan biologique, certaines espèces de poissons sont très vulnérables à l'acidité, comme c'est le cas pour les salmonidés, principalement aux stades d'oeufs et d'alevins (Gunn, 1986). Ces stades coïncident d'ailleurs avec le moment de la fonte printanière. Selon ce critère de pH = 5,5, les lacs Dow et Fontaine n'auraient résisté qu'au printemps suivant le chaulage. Les lacs Merrill, des Pins et du Milieu auraient résisté à deux chocs printaniers, tandis que le lac Junior aurait résisté à plus de deux de ces chocs acides. Ce critère ne s'applique évidemment pas au lac Matte qui n'était pas acide à l'origine.

Le comportement physico-chimique des eaux s'est avéré très comparable pour les lacs du Milieu et des Pins (Figures III.6 et III.7), malgré qu'il n'y ait pas eu d'évidence d'un choc acide au lac du Milieu au printemps 1986. L'acidité des deux lacs était moins critique en 1987

qu'en 1986, ce qui peut être dû autant à l'échantillonnage qu'au régime hydrologique.

Le lac Merrill a pu résister à deux printemps consécutifs (1984 et 1985) et ce, même s'il possède le temps de renouvellement le plus rapide (0,25 année). Ce comportement pourrait être en partie attribuable au fort dosage reçu (81 g/m^3) et peut-être aussi à sa morphométrie.

IV.3.3 Utilisation de la calcite

Il est dès lors connu que la dissolution instantanée de la calcite est très variable d'un lac à l'autre et que la dissolution continue jusqu'au moment où il devient impossible de la mesurer. Une partie du produit est exportée en solution dans les eaux de drainage. Cependant, une partie de la calcite déposée au fond du lac ne sera pas utilisée pour tamponner la masse d'eau. Elle peut servir à neutraliser les sédiments ou être simplement désactivée par recouvrement (Sverdrup, 1985). Dans le premier cas, la neutralisation peut s'avérer avantageuse, mais dans l'autre, c'est une perte nette.

La concentration de calcium dans les eaux de surface et le débit instantané permettent de calculer en tout moment la perte de calcite à l'émissaire. Le tableau IV.7 présente un exemple de calcul avec les données du lac Fontaine, tandis que les figures IV.2 et IV.3 montrent la perte en calcium pour l'ensemble des lacs selon que la calcite était sous forme dissoute ou sèche lors de l'épandage. Quoique ces résultats aient surtout une valeur relative en raison de la qualité des données utilisées, ils donnent un ordre de grandeur réaliste de la perte en calcite par rapport à la persistance des effets du chaulage telle que calculée précédemment.

Aux lacs Dow et Fontaine, dont la série temporelle est suffisamment longue pour voir la fin de l'efficacité du traitement, la perte à l'émissaire est rapide. Elle représente une perte de plus de 50 pour cent dans la seule première année. Ces deux lacs renouvellent leurs eaux très rapidement, mais ce facteur ne joue qu'en conjonction avec

Tableau IV.7 Débits mensuels et exportation de calcium au lac Fontaine.

ANNÉE	MOIS	% DÉBIT ANNUEL	DÉBIT (m^3)	[Ca][1] (g/m^3)	CALCIUM (kg)	TOTAL ANNUEL (kg)	% CUMULÉ DU Ca AJOUTÉ
1984	Octobre	3,78	239333.5	2,4	574,40		3,78
	Novembre	8,64	547287,9	2,4	1313,49		12,42
	Décembre	5,85	370393,9	2,1	777,83		17,54
1985	Janvier	3,10	196188,4	2,1	412,00		20,25
	Février	2,05	129948,2	2,2	285,89		22,13
	Mars	3,68	233211,3	2,2	513,07		25,50
	Avril	17,72	1122494,0	1,0	1122,49		32,89
	Mai	27,02	1711623,0	1,0	1711,62		44,15
	Juin	9,90	627408,5	0,9	564,67		47,86
	Juillet	9,74	617152,7	0,9	555,44		51,52
	Août	4,13	265365,7	2,2	583,80		55,36
	Septembre	4,33	273972,5	2,2	602,74	9017,43	59,33
	Octobre	6,26	479670,6	1,2	575,60		63,11
	Novembre	4,59	351692,6	1,2	422,03		65,89
	Décembre	3,58	274085,3	1,1	301,49		67,87
1986	Janvier	3,11	238564,3	1,1	262,42		69,60
	Février	2,86	219044,8	1,1	240,95		71,18
	Mars	3,11	238075.3	1,1	261,88		72,91
	Avril	24,24	1857160,0	0,3	557,15		76,57
	Mai	20,45	1566519,0	0,3	469,96		79,66
	Juin	7,92	606996,6	0,1	60,70		80,06
	Juillet	8,48	649715,5	0,1	64,97		80,49
	Août	6,46	494498,6	0,0	0,00		80,49
	Septembre	8,94	684587,4	0,0	0,00	3217,16	80,49
	Octobre	12,47	610476,6	0,2	122,10		81,29
	Novembre	9,06	443579,9	0,2	88,72		81,88
	Décembre	4,71	230816,7	0,1	23,08		82,03
1987	Janvier	3,08	151005,0	0,1	15,10		82,13
	Février	2,26	110487,3	0,3	33,15		82,35
	Mars	6,50	318361,4	0,3	95,51		82,98
	Avril	24,81	1214777,0	0,0	0,00		82,98
	Mai	8,72	427109,9	0,0	0,00		82,98
	Juin	9,82	480868,6	0,0	0,00		82,98
	Juillet	8,32	407505,0	0,0	0,00		82,98
			GRAND TOTAL.....			12612.24 kg	

[1] Concentration du calcium excédant la valeur pré-chaulage.

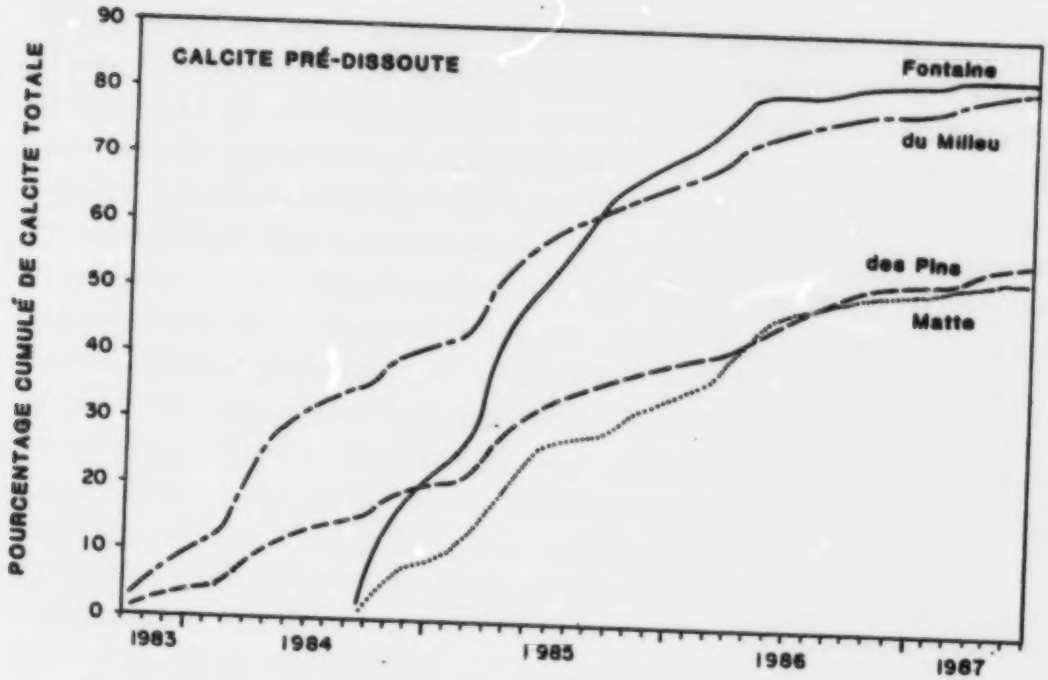


Figure IV.2. PERTE THÉORIQUE EN CALCIUM À L'ÉMISSAIRE DANS LES LACS MATTE, FONTAINE, DU MILIEU ET DES PINS.

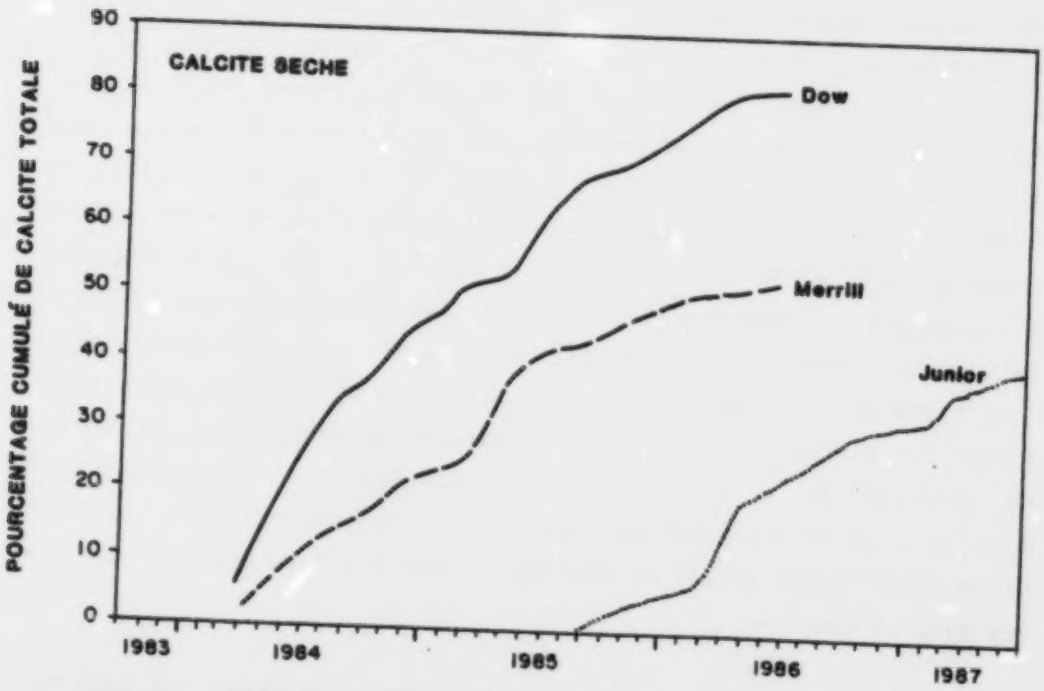


Figure IV.3. PERTE THÉORIQUE EN CALCIUM À L'ÉMISSAIRE DANS LES LACS DOW, MERRILL ET JUNIOR.

d'autres. Au lac Fontaine, la dissolution initiale particulièrement efficace (valeur estimée de 31,4 pour cent) aurait laissé proportionnellement moins de calcite au fond. Par contre au lac Dow, la faible profondeur (moyenne de 1,5 m) ne favorise pas la sédimentation et le séjour de la calcite au fond (turbulence plus grande). Ce facteur distinguerait le lac Dow du lac Merrill, où, malgré un dosage équivalent, la profondeur (moyenne de 3,0 m) associée à une moins grande turbulence permettrait une certaine stagnation des eaux de fond plus riches en bicarbonates. Selon Sverdrup (1985), la stagnation ralentit la dissolution en inhibant la diffusion autour des particules. Ceci explique la réactivation de la calcite lors de l'homothermie, après sa remise en suspension alors que les masses d'eau s'agitent.

L'utilisation de la calcite a été très importante dans les lacs Dow et Fontaine, soit plus de 80 pour cent, alors qu'elle a été d'environ 50 pour cent au lac Merrill où la durée efficace des effets du chaulage est terminée. Aux lacs des Pins et du Milieu, les pertes à l'émissaire ont été très différentes, soit des valeurs de 81 et 53 pour cent respectivement après 3,5 ans. Toutefois, le pourcentage résiduel de calcite ne se serait pas nécessairement trouvé au fond des lacs. Le lac du Milieu reçoit les eaux du lac des Pins, ce qui implique que la concentration de calcium observée au lac du Milieu doit rendre compte de l'apport du plan d'eau situé à l'amont. Ainsi, au lac des Pins, environ 50 pour cent de la calcite aurait été utilisée au moment du choc acide de 1987 et il est vraisemblable de croire que cette proportion n'augmentera pas beaucoup plus d'ici la fin de la persistance des effets du traitement. Au lac Matte, environ 56 pour cent de la calcite aurait été utilisée après trois ans, alors qu'on juge que la durée efficace des effets du traitement est presque terminée. Au lac Junior, 43 pour cent de la calcite aurait quitté le lac à l'émissaire après deux ans, et il n'y a pas de signe de ralentissement de la tendance. La persistance des effets du traitement pourrait être moindre que prévue dans ce cas.

Les pertes les plus importantes sont donc survenues aux lacs Merrill et des Pins, conséquence probable du mode d'épandage dans ces

plans d'eau où les conditions morphologiques et hydrologiques ont pu aider à soustraire la calcite à la circulation de l'eau. À cela, s'ajoute la désactivation de la calcite par les matières humiques et les ions de fer et d'aluminium (Sverdrup et al., 1984), qui précipitent sur sa surface ou y forment des complexes. Les plans d'eau les plus colorés sont les lacs Merrill (80 Hazen), Matte (75 Hazen) et des Pins (59 Hazen), où les pertes de calcite au fond semblent les plus importantes. Malgré des valeurs élevées de couleur (jusqu'à 100, 110 et 125 unités Hazen respectivement à un mètre du fond), la persistance des effets du traitement dépasse de beaucoup les prédictions des auteurs précités. Dans des eaux très brunes (100 unités Hazen), la calcite serait désactivée en-deçà de 30 heures en laboratoire, alors que l'on observe encore des augmentations de calcium à l'homothermie plus de trois ans après le chaulage au lac des Pins, présumément dues à la calcite au fond.

V. IMPACT DU CHAULAGE SUR LES POPULATIONS DE POISSONS

V.1 ESPÈCES SPORTIVES ET COMMUNAUTÉS À L'ORIGINE

L'omble de fontaine était l'espèce sportive typique de tous les plans suivis, à l'exception du lac Matte où on retrouvait du touladi. Dans les lacs de tête acides et peu productifs, la diversité spécifique était faible (au niveau des poissons). Comme l'objectif était de rétablir la pêche sportive, cette condition représentait un atout pour le succès global de l'opération, en minimisant la compétition interspécifique nuisible au rendement de l'omble de fontaine (Lachance, en préparation). Le tableau V.1 présente les espèces recensées et l'état estimé des populations par lac selon les pêches expérimentale et sportive. Les statistiques de pêche sont présentées à l'annexe 6. Les qualificatifs utilisés (moyenne, faible) n'ont qu'une valeur locale et sont relatifs aux succès obtenus sur les plans d'eau de la ZEC.

L'évaluation des densités n'a pas été rigoureuse et les résultats du tableau V.1 peuvent sembler inconsistants entre la pêche expérimentale et la pêche sportive. Ils sont tout de même présentés à titre descriptif. Par l'une ou l'autre des deux méthodes de pêche, l'indice de densité est dérivé du succès de pêche (poissons par pêcheur, poissons par filet par heure). Les méthodes diffèrent cependant quant au mode d'action des engins, l'un étant passif (filet expérimental), l'autre étant actif. Ceci explique en grande partie les variations observées, surtout quand l'effort de pêche est faible (quelques pêcheurs). En termes généraux, si on fait exception du lac Dow, il est possible de présumer que les populations présentes étaient très faibles au moment du chaulage (selon leur capacité à soutenir une exploitation).

V.2 ÉVALUATION PAR LA PÊCHE EXPÉRIMENTALE

Seul le lac Junior a été étudié systématiquement quant à l'impact du chaulage sur la survie de l'omble de fontaine. Traité à deux reprises (à la chaux hydratée en 1981 (Lemieux, 1981) et à la calcite en

Tableau V.1 Liste des espèces recensées et état estimé des populations par lac.

NOM DU LAC	ESPÈCE SPORTIVE	DERNIER ENSEM.	DENSITÉ	AUTRES ESPÈCES
Boiteau	Sal. fon.[1]	1975	Nulle(E) (1979,80) Moyenne(S) (1984)	Nil
Dow	Sal. fon.[1]	--	Moyenne(S)	N.D.
Fontaine	Sal. fon.[1]	1974	Nulle(E) (1979,80) Faible(S) (1980)	Nil
Lise	Sal. fon.[1]	--	N.D.	Nil
Reine	Sal. fon.[1]	--	N.D.	Nil
Vase	Sal. fon.[1]	--	N.D.	Nil
Junior	Sal. fon.[1]	1979	Nulle(E) (1981) Faible(S) (1979,81)	Nil
Matte	Sal. nam.[2]	1966	Faible(E) (1980)	Cat. com.[3] Sem. mar.[4]
Merrill	Sal. fon.[1]	--	Nulle(S) (1982,84)	N.D.
Milieu	Sal. fon.[1]	1974	Moyenne(E) (1978) Faible(S) (1983)	Nil
Pins	Sal. fon.[1]	1972	Faible(E) (1979) Nulle(S) (1980)	Nil

1 Salvelinus fontinalis
2 Salvelinus namaycush
3 Catostomus commersoni
4 Semotilus margarita
(E): Pêche expérimentale
(S): Pêche sportive
N.D.: Non déterminé; Salvelinus fontinalis est l'espèce sportive typique du bassin hydrographique concerné.

1985), il fut ensemencé avant et après chaque traitement, puis pêché expérimentalement de neuf à dix mois après, afin d'estimer l'état des populations. Deux séries de données, distinguant l'effet des deux produits précédants, seront traitées et comparées dans cette section.

V.2.1 Méthodologie

Le lac Junior constitue une exception du fait qu'il représente un milieu fermé, i.e. sans tributaire ni émissaire. La méthode de Leslie (Ricker, 1975) fut utilisée pour évaluer la biomasse résiduelle d'omble de fontaine de ce plan d'eau après ensemencement. Cette méthode consiste à faire plusieurs pêches successives en conservant le même effort de pêche.

Ainsi, un total de huit filets maillants expérimentaux de 30 mètres de long et deux mètres de haut, à mailles étirées de 3,8, 5,1, 7,6 et 10,2 cm, a été utilisé pour les deux années (1982 et 1986). Ces engins étaient utilisés pendant 24 heures aux mêmes stations. L'unité d'effort de pêche a été définie comme étant l'activité de pêche des huit filets durant 24 heures. Les variables qui ont été retenues sont la C.U.E. (capture par unité d'effort) journalière et les captures cumulées depuis le début de la pêche.

L'équation de la droite a été obtenue à l'aide d'une régression linéaire entre le cumul des captures et le succès de pêche (C.U.E.). En prolongeant cette droite jusqu'à l'abcisse, le point de rencontre donne une estimation de la densité résiduelle nécessaire pour amener le succès de pêche à zéro.

Tous les ensemencements ont eu lieu à l'automne suivant le chaulage avec des fretins d'omble de fontaine de lignée domestique. Les taux d'ensemencement ont été de 167 fretins par hectare en 1979, de 330 fretins par hectare en 1981 et de 167 fretins par hectare en 1985.

V.2.2 Taux de recapture au filet maillant et croissance

Le détail des résultats des pêches successives en 1982 et 1986 apparait à l'annexe 7, et le graphique montrant la relation entre le succès de pêche et le cumul des captures est présenté à la figure V.1.

En 1980, une pêche expérimentale révéla une mortalité de 100 pour cent des ombles de fontaine ensemencés dix mois auparavant (Figure V.2). Un stress causé par un choc acide fut alors l'hypothèse avancé puisque le déversement des poissons a été réalisé dans une eau à pH = 5,0, alors qu'aucun déficit en oxygène n'a été observé à l'hiver suivant (Lemieux, 1981).

À la suite du traitement à la chaux hydratée ($Ca[OH]_2$) réalisé en 1981, le potentiel de capture a été de 0,0522, impliquant ainsi que 5,22 pour cent de la population initiale était prélevé en moyenne lors de chaque pêche. L'intersection de la droite avec l'abcisse correspond au nombre de poissons estimé pour amener le succès à zéro (point où tous les poissons auraient été prélevés). L'estimation de la densité de poissons avant le début de la pêche est de 220 poissons (r^2 = 0,91: P < 0,02). L'intervalle de confiance de cette estimation est compris entre 179 et 319 au niveau de probabilité de 95 pour cent. Ainsi, ces résultats impliquent que le taux de survie des ombles de fontaine ensemencés en 1981 aurait été de 22 pour cent par suite du traitement à la chaux hydratée. La croissance moyenne en longueur a été de 46,5 mm pour un séjour de neuf mois et demi en lac, soit 64 pour cent de la valeur initiale. Le gain en biomasse n'a pu être estimé pour cet ensemencement.

Par suite du traitement à la calcite ($CaCO_3$) effectué en 1985, la pêche au filet a permis de prélever journalièrement en moyenne 13,05 pour cent de la population initiale. Par extrapolation de la droite jusqu'à l'abcisse, on peut estimer à 320 poissons (r^2 = 0,997: P < 0,01) les effectifs initiaux de la population avant le début de la pêche. L'intervalle de confiance au niveau de probabilité 95 pour cent de cette estimation est compris entre 289 et 366. Selon ces résultats, le

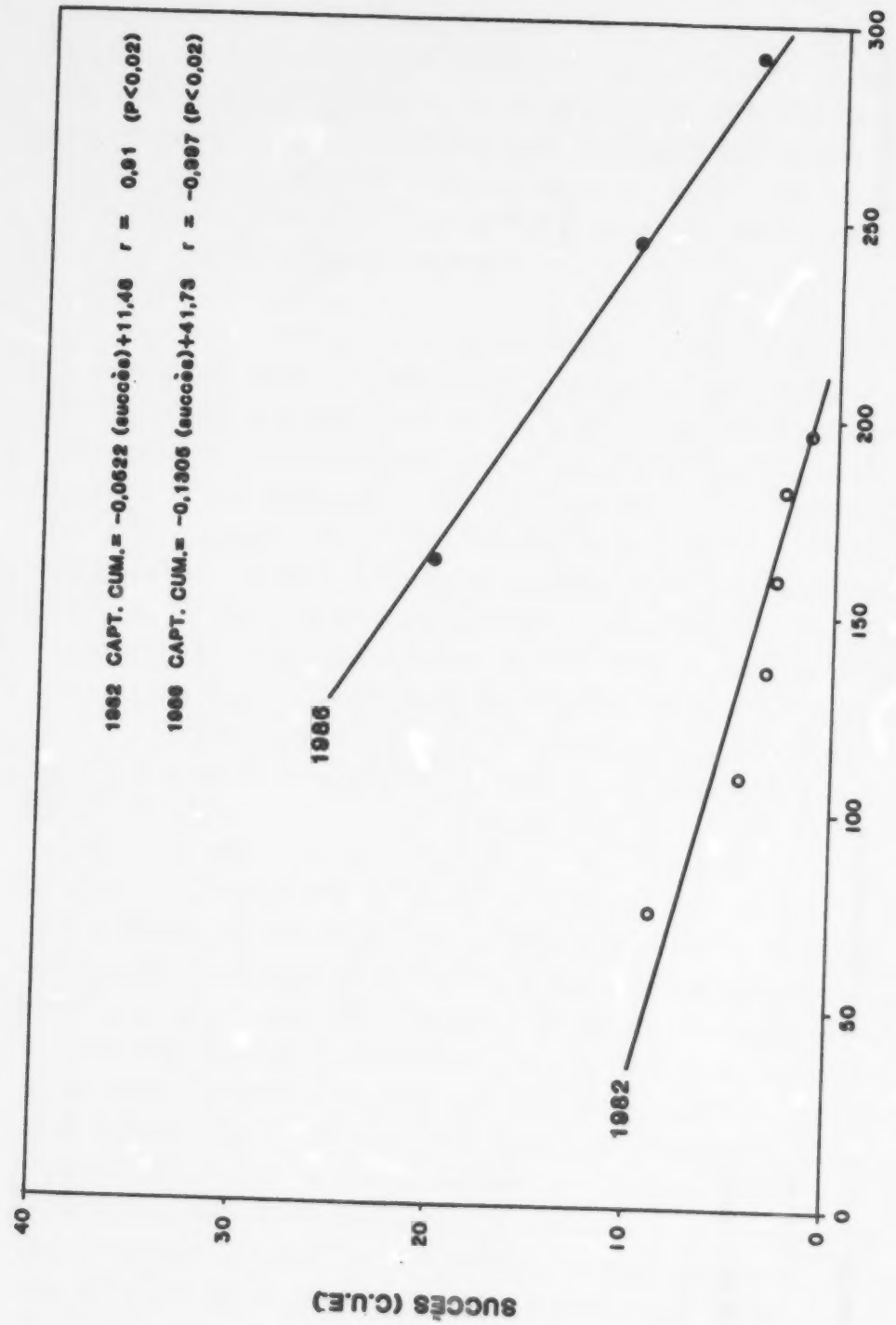


Figure V.1. RELATION ENTRE LE SUCCÈS DE PÊCHE ET LES CAPTURES CUMULÉES AU LAC JUNIOR EN 1982 ET EN 1986.

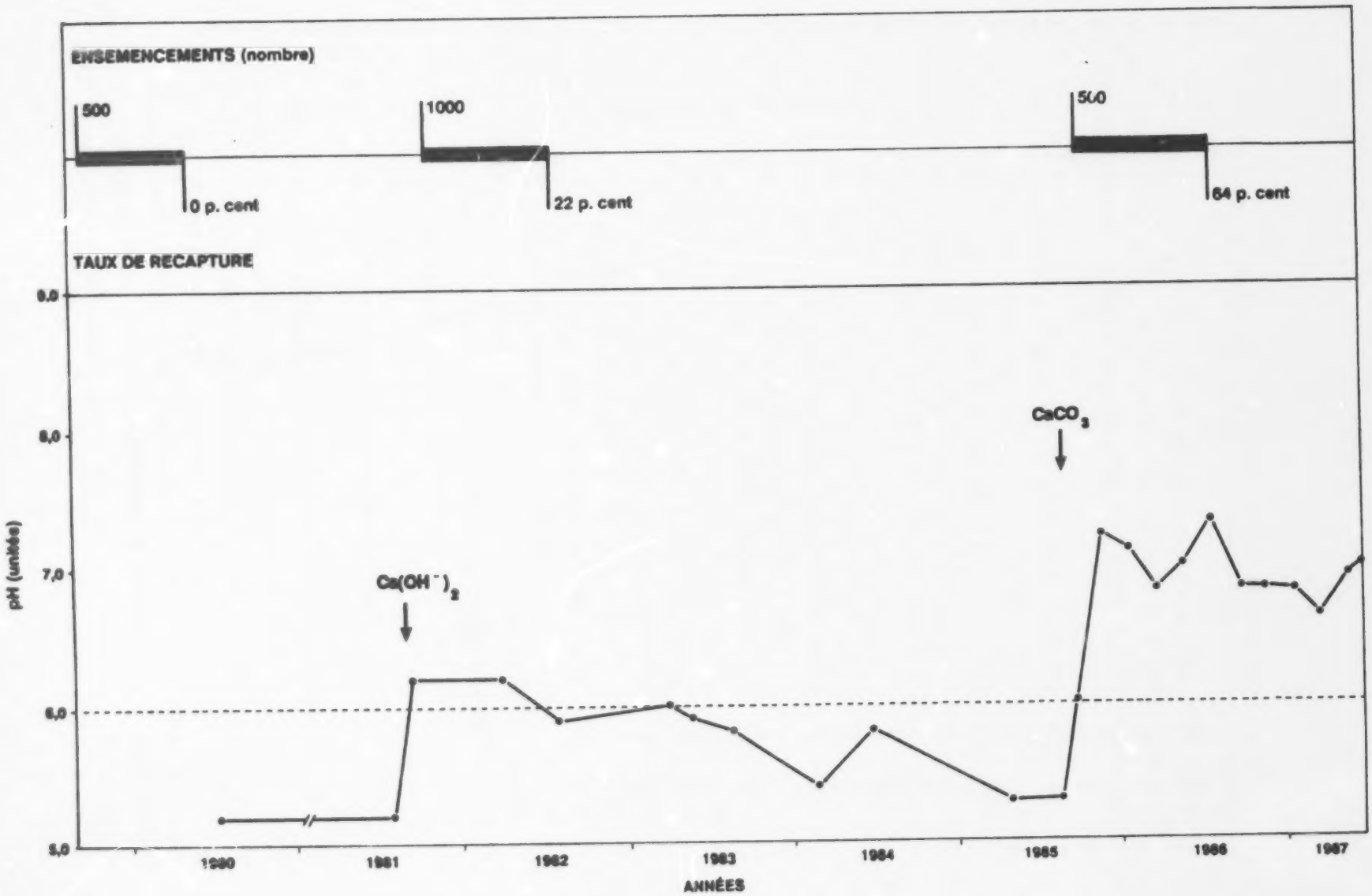


Figure V.2. ÉVOLUTION TEMPORELLE DU pH DES EAUX DE SURFACE DU LAC JUNIOR ET TAUX DE RECAPTURE DES OMBLES DE FONTAINE ENSEMENCÉS.

taux de survie des 500 ombles de fontaine ensemencés aurait été de 64 pour cent dix moix après le traitement à la calcite. La taille moyenne des poissons ensemencés était de 103,6 mm et a atteint 238,5 mm après ce séjour en lac. Le taux de croissance relatif a donc été de 130 pour cent par rapport à la longueur initiale pour un gain de 134,9 mm. Le gain en poids a été de 1 314 pour cent, passant d'une moyenne de 8,9 g à 125,9 g en dix mois. La biomasse totale se serait donc accrue par un facteur neuf, passant de 4,47 kg (poids total des ombles ensemencés) à 40,29 kg (nombre estimé x poids moyen).

Les droites de régression présentées à la figure V.1 ont des pentes significativement différentes ($P < 0,05$), ce qui confirme qu'elles font partie de deux populations distinctes. Bien que les pentes soient convergentes, les intervalles de confiance à 95 pour cent des taux de survie ne se recoupent pas. Il semble donc que le traitement à la calcite a permis aux ombles de fontaine ensemencés de survivre en plus grand nombre. Cette différence ne peut toutefois être attribuée directement à la nature du produit lui-même. Nous supposons que la quantité différente de neutralisant utilisé lors des deux traitements pourrait être une cause expliquant cette différence, puisque la chaux hydratée (14 g/m^3) n'a élevé le pH que d'une unité (5,2 à 6,2), tandis que la calcite (24 g/m^3 $CaCO_3$) a permis de hausser le pH de deux unités (Figure V.2).

De plus, le manque de ressources alimentaires, à la suite du premier chaulage, aurait pu expliquer cette différence de mortalité, puisque Yan et al. (1985) a observé une diminution radicale de la biomasse zooplanctonique après un chaulage. Cependant, cette hypothèse paraît peu vraisemblable puisque le coefficient de condition moyen des ombles de fontaine recueillis en 1982 (CF = 0,9635) n'est pas significativement différent ($P < 0,05$) de celui observé en 1986 (CF = 0,9276). Bien qu'élevés, ces taux de retour ne sont pas exceptionnels puisque Flick et Webster (1962, 1964) ont obtenu des taux de survie variant de 30 à 100 pour cent (moyenne de 50,4 pour cent) pour des ombles de fontaine domestiques d'âge 0+ pour des séjours d'environ six mois.

Il est actuellement impossible de déterminer quel mécanisme a pu provoquer la mortalité élevée à la suite du traitement à la chaux hydratée. Cependant, les carbonates et le calcium introduits lors du traitement à la calcite pourraient agir en synergie pour améliorer la stabilité des membranes biologiques au niveau des branchies (Wright et Sneknik, 1978; McDonald, 1983).

V.3 ÉVALUATION PAR LA PÊCHE SPORTIVE

L'ensemencement est la technique la plus fréquemment utilisée en aménagement des pêcheries sportives au Québec. Sur le territoire de la ZEC Tawachiche, de nombreux ensemencements sont effectués à chaque année. Cette pratique était également utilisée avant la création de la ZEC en 1978. On dispose d'un historique de l'exploitation depuis 1954 sur ce territoire, et depuis 1959 pour les ensemencements. Toutefois, les estimateurs usuels (succès, masse moyenne des captures et caractéristiques des poissons ensemencés) ne sont pas disponibles. De plus, à l'époque, il était fréquent de "fermer" ou de sous-exploiter les plans d'eau afin de laisser "grossir" le poisson, ce qui diminue l'image du retour des ensemencements avant la création de la ZEC.

Le retour à l'ensemencement est basé sur un calcul grossier. On estime que le recrutement naturel est égal à la récolte annuelle précédant l'ensemencement. On le soustrait donc de la récolte post-ensemencement et c'est cette récolte corrigée qu'on attribue à l'ensemencement lui-même. Cette estimation est valable pour les lacs dont les populations naturelles sont très petites. Dans le cas contraire, une augmentation de la pression de pêche consécutive à l'ensemencement pourrait prélever une fraction plus importante des populations naturelles et fausser l'évaluation du retour à l'ensemencement. Dans les cas retenus ici, les tendances des estimateurs indiquaient une dégradation de la qualité de la pêche. L'augmentation du succès de pêche, quant à elle, est considérée comme une conséquence de l'ensemencement, que le lac ait été chaulé ou non.

Le tableau V.2 montre les statistiques de pêche des lacs Boiteau, Fontaine, du Milieu et des Pins pour la période 1954 à 1987, ainsi que les ensemencements qui y ont été effectués. Afin de permettre la comparaison des deux périodes (avant et après chaulage), nous avons fait l'hypothèse que toute récolte provenait des ensemencements à partir du moment où ces derniers ont eu lieu, et ce, malgré l'évidence d'une surestimation du retour.

Ce tableau montre que le retour des ensemencements était marginal dans les lacs Boiteau, Fontaine et des Pins (moins de dix pour cent). Au lac du Milieu, le potentiel naturel semblait appréciable relativement au niveau d'exploitation exprimé, mais il est extrêmement difficile de corréler les captures aux ensemencements pour la période précédant 1976. Malheureusement sans l'effort de pêche, ces valeurs ne sont pas comparables aux niveaux actuels des captures. Il est néanmoins probable que des ensemencements importants (en 1974 au lac Fontaine et en 1975 au lac Boiteau) aient été suivis d'une certaine pression de pêche, et il est possible de croire que les faibles récoltes aient été l'indice d'un faible succès de pêche.

Après chaulage, le retour à l'ensemencement a été de 19 et 29 pour cent respectivement aux lacs Fontaine et des Pins. Il s'est avéré encore plus élevé aux lacs Boiteau (44,2 pour cent) et du Milieu (56,1 pour cent). Dans ce dernier cas, 48,2 pour cent de l'ensemencement de 1984 fut récupéré la même année et ce taux a grimpé à 70 pour cent avec la récolte de 1985 (l'ensemencement de 1985 a eu lieu après la saison de pêche). Nous verrons plus loin que ces valeurs peuvent être surestimées. Ces taux variables (de 19 à plus de 50 pour cent) peuvent s'expliquer par la pression de pêche à laquelle ils sont corrélés. Pour analyser la contribution du chaulage, il est possible de pallier l'absence de données historiques (i.e. la pression de pêche sur les mêmes lacs) par des données recueillies sur des plans d'eau voisins ensemencés au même moment et dont les caractéristiques sont similaires (superficie, taux et lignées d'ensemencement, absence de contingentement de l'effort de pêche, communautés simples, etc.). Les caractéristiques des plans d'eau retenus sont détaillées au tableau V.3. Les re-

Tableau V.2 Captures et ensemencements avant et après le chaulage.

ANNÉE	LAC DU MILIEU		LAC DES PINS		LAC FONTAINE		LAC BOITEAU	
	ENS[1]	CAP[2]	ENS	CAP	ENS	CAP	ENS	CAP
1954		(49)		(7)				
1955		(91)						
1956								
1957		(51)						
1958		(59)						
1959	105	158	20					
1960	50	362						
1961	32	12						
1962	104	3						
1963		68						
1964		47						
1965		63						
1966		147	400		400		600	
1967	420	70	420		260		420	
1968	400	135	200	15	400			
1969		225		2		2		
1970	425	167			150			
1971	1350	13						
1972	960	89	120		350	1		
1973		111				7		
1974	1000	31			1800			
1975		264				41	4000	
1976		34						
SOMME	4846	1999	1160	17	3360	51	5020	0
RETOUR (%)		41,25		1,47		1,52		0,00
1984	3500	1687	1500	313	9000			
1985	3000	757	1000	188		917		
1986	1094	1016		128	4000	280	4170	
1987		803		99		1220		1845
SOMME	7594	4263	2500	728	13000	2417	4170	1845
RETOUR (%)		56,14		29,12		18,59		44,24

1 ENS: Ensemencement.
2 CAP: Captures.

Tableau V.3 Caractéristiques comparées des lacs chaulés et non chaulés des figures V.2a et V.2b.

NOM DU LAC	ORDRE HYDROL.	ALTITUDE (m)	SUPERFICIE (ha)	PROF.MAX. (m)	PROF.MOY. (m)	TEMPS RÉTENTION (année)	pH TERRAIN (unités)	ESPÈCES COMPAGNES[1]	TAUX ENSEM. (nb/ha)
LACS CHAULÉS									
Boiteau	1	339	27,4	31,7	11,7	3,0	-	nil	152
Fontaine	2	334	42,9	14,3	4,6	0,4	-	nil	210
du Milieu	2	361	28,5	15,9	3,7	1,0	-	nil	123
des Pins	1	363	13,0	13,7	4,7	1,4	-	nil	115
Reine	1	347	2,9	3,9	0,9	0,1	-	nil	333
Vase	1	357	3,8	2,2	0,8	0,1	-	nil	333
LACS NON CHAULÉS									
Arcale	1	347	31,0	36,0	12,0	3,4	4,8[1]	nil	129
Bonnet	4	271	26,0	28,0	9,3	3,0	6,0[1]	Sa	100
Cantin	1	332	11,0	10,7	3,1	3,1	5,3[2]	nil	218
Faber	2	320	26,0	11,7	3,8	4,8	6,0[3]	Cc;Cp;Sc	100
Narcisse	1	294	6,0	-	-	-	5,0[3]	Sm	267
Sarto	1	317	26,0	19,2	7,0	2,2	4,5[1]	nil	97
Sudcliff	1	361	12,0	20,0	6,7	0,7	5,3[1]	nil	167

[1] Nom des espèces compagnes: Cc: Catostomus commersoni
Cp: Couesius plumbeus
Sa: Semotilus atromaculatus
Sc: Semotilus corporalis
Sm: Semotilus margarita

[2] Hydro-lab (Nera Water Quality Monitor), échantillon à 1 m de la surface
[3] pH-mètre (Hach #1975), échantillon à 5 m de la surface
[4] Méthode colorimétrique (Hach kit), échantillon de surface

lations entre le retour d'ensemencement et la pression de pêche pour les lacs chaulés et non chaulés sont illustrées à la figure V.3.

Dans les deux cas, les droites de régression présentées à la figure V.3 sont significatives, ce qui confirme d'une part que la variation du retour des ensemencements est expliquée par la pression de pêche. Cependant, les pentes sont significativement différentes ($P < 0,002$), le retour des ensemencements étant plus élevé dans les lacs chaulés.

La présence de compétiteurs est un facteur qui peut influencer la survie des poissons ensemencés. Il est connu que la grande majorité des espèces compagnes de l'omble de fontaine au Québec sont compétitrices au plan alimentaire, y compris celles de petite taille comme les cyprinidés (ménés). Une étude récente (Lachance, en préparation) démontre que la présence du meunier noir peut réduire le retour à l'ensemencement (évalué par la pêche sportive) jusqu'à 90 pour cent par rapport à des lacs où l'omble de fontaine est sans compétiteur. Les lacs chaulés de la ZEC Tawachiche ne comprenaient aucune espèce autre que l'omble de fontaine (allopatrie), alors que dans les sept lacs non chaulés, il y avait présence de cyprinidés dans un cas et de meuniers noirs dans deux autres (sympatrie). La relation entre le retour d'ensemencement et la pression de pêche pour les quatre lacs non chaulés en situation allopatrique est significative ($P < 0,05$) et sa pente est différente de celle des lacs chaulés ($P < 0,05$). Même s'il est impossible d'affirmer avec certitude que le chaulage soit le facteur déterminant des taux de retour observés, il reste que de tels succès n'ont jamais été signalés dans la région.

Le retour à l'ensemencement renseigne sur le prélèvement, mais ne dit rien de la population résiduelle. Celle-ci, et donc le taux de survie des poissons ensemencés, peut également être estimée par le biais des statistiques sportives en mettant le succès de pêche en relation avec le cumul des captures, suivant la méthode de Leslie. Pour y arriver, l'effort annuel exprimé sur chaque lac a été divisé en tranches égales pour simplifier les calculs. Une méthode semblable a déjà

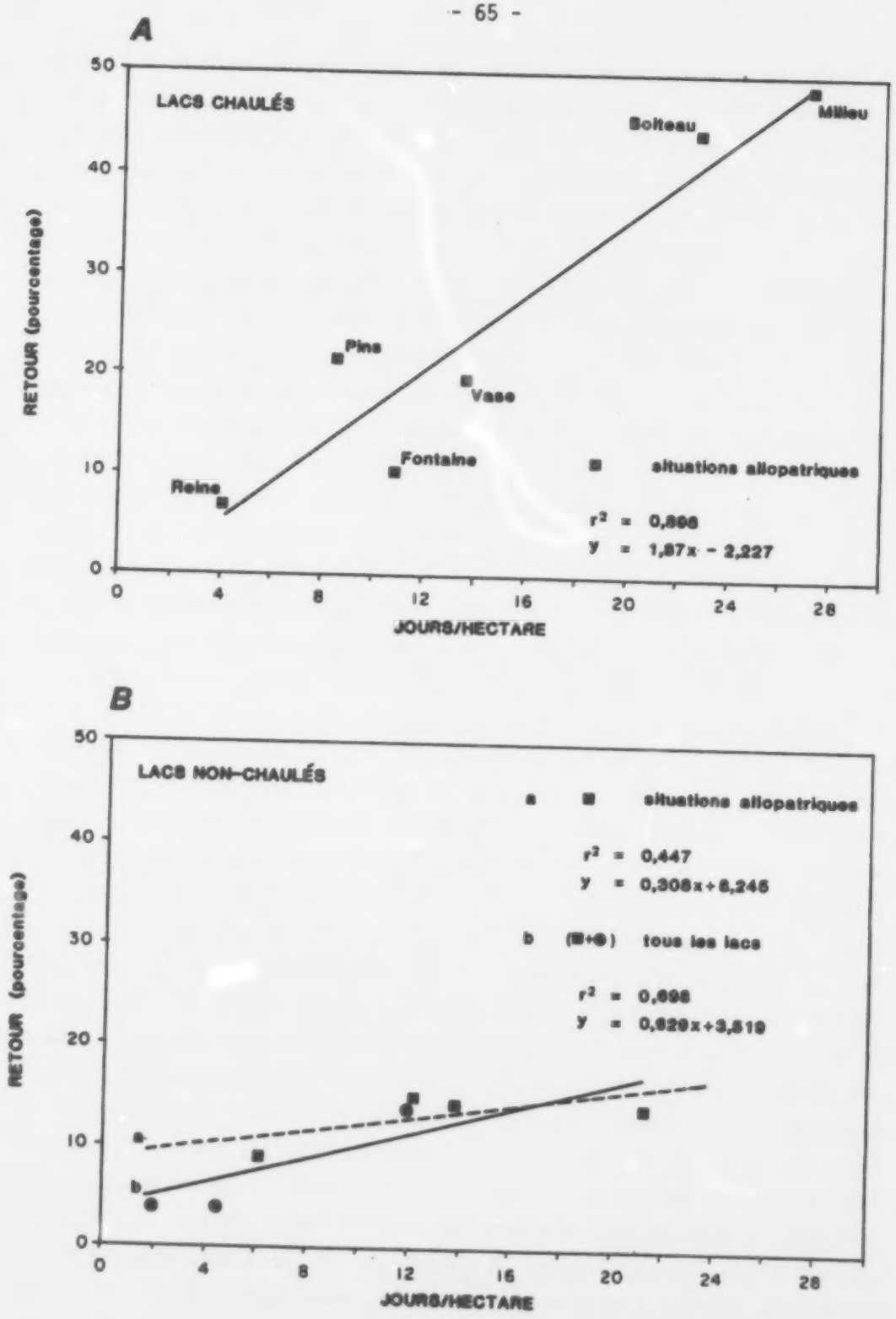


Figure V.3. RELATION ENTRE LE RETOUR D'ENSEMENCEMENT ET LA PRESSION DE PÊCHE POUR LES LAC CHAULÉS ET LES LACS NON-CHAULÉS.

été utilisée au Québec pour estimer des populations indigènes (Vézina et Samson, 1976). Cette méthode souffre toutefois de quelques biais importants et ne s'applique que dans des cas particuliers. D'abord, l'effort de pêche est standardisé sur la durée (en jours de pêche) et non sur l'efficacité, alors que les pêcheurs n'ont pas tous les mêmes méthodes ou le même talent. À cause de l'imprécision inhérente à ces données, nous ne calculerons pas d'intervalles de confiance sur les estimations. Ensuite, il faut considérer l'ensemble de la saison de pêche pour avoir une quantité suffisante de données, bien qu'une courte période soit préférable. En effet, les conditions du milieu et le comportement des poissons changent avec le temps, ce qui influence le succès de pêche. Enfin, cette méthode ne s'applique que dans les cas où le recrutement est nul ou très faible, car la sensibilité aux engins de pêche varie selon la taille. Dans le cas des lacs étudiés, le recrutement est considéré à peu près nul. À l'exception du lac du Milieu, des poissons d'une seule taille ont été ensemencés et on suppose que la probabilité d'être capturé est la même pour tous les poissons d'un même lac.

La figure V.4 présente le rendement à la pêche sportive dans les lacs Fontaine, du Milieu et des Pins, pour les deux années suivant le chaulage et l'ensemencement. En général, la première année se traduit par une absence de relation entre le succès de pêche et les captures, alors qu'à la deuxième année, les régressions sont significatives, indiquant ainsi une nette tendance à la baisse du succès de pêche alors que le cumul des captures augmente. Lors de la première année, les données brutes indiquent une légère augmentation du succès vers la fin de la saison. Cette augmentation est possiblement reliée au comportement des poissons et représente un biais qui a déjà été exprimé. Par contre l'augmentation graduelle du succès en début de saison, qui est visible pour les lacs du Milieu (1984) et Boiteau (1987), peut indiquer une sensibilité grandissante à la capture. Toutefois, ce point culminant survient au même endroit que dans les autres lacs, ce qui constitue un nouveau biais. En appliquant la méthode de Leslie à partir de ce point culminant, il est possible d'éliminer le recrutement. L'évaluation du stock résiduel devient donc possible. Par cet artifice, il n'y a qu'au

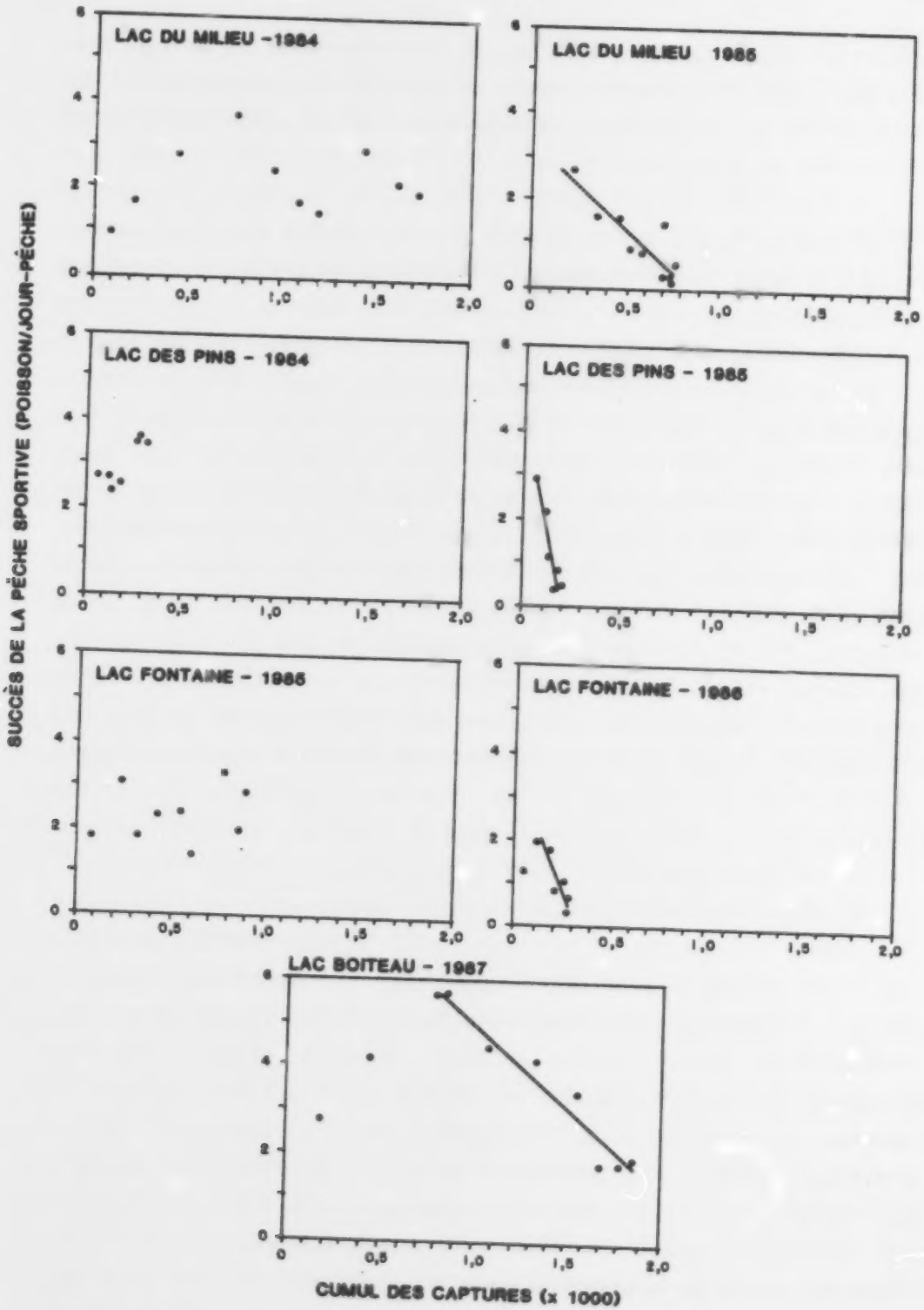


Figure V.4. RELATION ENTRE LE SUCCÈS DE LA PÊCHE SPORTIVE ET LE CUMUL DES CAPTURES DANS LES LACS CHAULÉS DE LA ZEC TAWACHICHE.

lac Boiteau que la tendance à la baisse est significative dans la première année suivant l'ensemencement. Le point d'intersection avec l'abcisse est une indication de la récolte totale de poissons qui pourrait être retirée du plan d'eau.

Le taux de survie est calculé d'après la récolte totale estimée et la quantité de poissons ensemencés. Les résultats présentés au tableau V.4 s'appliquent pour des périodes de deux ans, sauf en ce qui concerne le lac Boiteau (un an). L'interprétation des données se complique du fait que la longueur de la période considérée (jusqu'à deux ans) représente une fraction importante de l'espérance de vie de l'omble de fontaine (trois ou quatre ans même sous exploitation légère, voir Power (1980)). Cette espérance de vie peut même être plus courte pour des lignées domestiquées, sélectionnées pour leur croissance rapide (Vincent, 1960). Comme les poissons ensemencés ont déjà plus d'un an au début de la première saison de pêche, il est évident que la mortalité naturelle doit en prélever une partie en deçà de deux ans. Au lac Boiteau, le taux de survie serait de 56 pour cent sur un an, ce qui serait supérieur à la moyenne pour une souche domestique (environ 50 pour cent sur six mois selon Flick et Webster (1962)), mais non exceptionnel.

Tableau V.4 Taux de survie de l'omble de fontaine ensemencé dans les lacs chaulés.

LAC	NOMBRE ENSEMENCÉ	CAPTURES SAISON #1	QUANTITÉ RÉSIDUELLE	ESTIMATION DE POPULATION RÉSIDUELLE	TAUX DE RECAPTURE (pour cent)
Boiteau	4170	1845	N.A.[3]	2319	55,6[1]
Fontaine	9000	917	8083	325	4,0[2]
du Milieu	3500	1687	1813	843	46,5[2]
des Pins	1500	313	1187	205	17,3[2]

[1] Taux de survie de la première année.

[2] Taux de survie sur deux ans.

[3] Ne s'applique pas

Aux lacs Fontaine, des Pins et du Milieu, les taux de survie sur deux ans seraient respectivement de 4,0, 17,3 et 46,5 pour cent en déduisant les captures par la pêche sportive de la première année. Puisque les courbes de capture de la première année ne distinguent pas les lacs quant à la survie (absence de tendance), c'est lors du deuxième hiver que des facteurs différents seraient responsables des taux calculés.

Au lac Fontaine, la mortalité (ou la désertion) peut être reliée au choc acide du second printemps, alors qu'au lac des Pins, les risques d'anoxie pourraient être responsables du résultat observé. Notons aussi que dans le cas de la migration d'une partie de la population de ce lac, un tel phénomène profiterait au lac du Milieu. Mais ce lac ayant également un émissaire, on considère que les conditions physico-chimiques étaient suffisamment favorables pour que les poissons y restent. D'autre part, les résultats du lac Fontaine indiquent que la période printanière est probablement la plus critique et que le concept de refuge (hypolimnétique) développé précédemment n'aurait pas d'avantages biologiques. En effet, à cette période, l'omble de fontaine fréquente les eaux superficielles pour se nourrir et les conditions adverses qu'elle y rencontre pourraient être à l'origine de sa disparition.

En conclusion, nous n'avons évalué le bénéfice du chaulage qu'en termes de survie des ombles de fontaine de lignée domestique ensemencées. On a observé une meilleure survie à la suite du traitement à la calcite, comparativement à celle observée lors d'un traitement antérieur à la chaux hydratée, mais on ne peut que spéculer sur les mécanismes responsables de cette situation. Il est bon de rappeler que la survie était nulle au lac Junior avant le premier traitement. Deux sources indirectes, les statistiques de pêche sportive et les pêches expérimentales, permettent aussi d'apprécier le bénéfice du chaulage. Par rapport à la situation antérieure, la récolte post-ensemencement s'est avérée quantitativement plus importante après le chaulage, quoique l'absence de renseignements sur la pression de pêche ne permette pas d'évaluer dans quelle mesure. Par contre, en comparaison à des lacs voisins, le retour des ensemencements était nettement plus élevé dans

les lacs chaulés, phénomène que, d'après nos connaissances, nous ne pouvons attribuer à d'autres facteurs. Enfin, les exigences et le comportement de l'espèce cible influencent la survie du stock ensemencé, puisque les autres contraintes de l'habitat peuvent devenir limitantes à des densités élevées (anoxie au lac des Pins) ou que la réaction aux chocs épisodiques peut survenir de façon différente.

VI. RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE

VI.1 ENVIRONNEMENT SOCIO-POLITIQUE

VI.1.1 Problématique de la pêche dans les ZEC

Les zones d'exploitation contrôlée (ZEC) ont été créées pour la plupart en 1978, à la suite de l'abolition des clubs privés de chasse et de pêche sur les terres publiques du Québec. Ces ZEC, placées sous la tutelle du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, sont gérées par des associations de chasseurs et de pêcheurs formées en corporations à but non lucratif. Chaque ZEC englobe un territoire où les activités de prélèvement faunique sont restreintes aux utilisateurs qui ont déboursé des frais annuels (carte de membre) ou forfaitaires.

L'exploitation de la faune devient problématique quand la demande est excessive ou que l'habitat limite le capital faunique. Pour la pêche, la clientèle a des exigences quant à la qualité de l'expérience qu'elle entend vivre sur la ZEC, cette qualité s'exprimant en succès de pêche (nombre de poissons par pêcheur) et en taille des captures. D'autre part, l'exploitation est inégale sur les différents plans d'eau et une pression excessive peut handicaper une population autrement saine et vigoureuse. La récupération de lacs dépeuplés est donc profitable à plus d'un point de vue. Non seulement l'offre globale de la ZEC est-elle augmentée, mais encore la pression de pêche est répartie sur un plus grand nombre de plans d'eau.

Comme les revenus de la ZEC varient en fonction de la fréquentation du territoire, elle doit investir une partie de son budget en aménagement de la faune. L'ensemencement est la méthode la plus fréquemment utilisée et bien souvent la seule connue de la majorité des utilisateurs. D'autres méthodes d'aménagement sont envisageables si le profit est encaissable à court terme. C'est le cas des aérateurs de lacs qui préviennent les épisodes d'anoxie chronique, et du chaulage qui augmente la survie et la croissance des poissons ensemencés. De tels

principes de gestion s'appliquent dans le cas où la pêcherie est l'unique souci des intervenants.

VI.1.2 Demande pour la pêche dans les ZEC

L'image la plus fidèle de la demande est obtenue par la pression de pêche. En théorie, l'accessibilité et la qualité de l'offre faunique devraient être les facteurs déterminants de la demande. Comme il n'y a pas de contingentement dans les ZEC, la pression de pêche peut s'exercer librement, quoiqu'elle puisse diminuer advenant une diminution de l'offre (fermeture des meilleurs plans d'eau, présence d'espèces d'intérêt moindre, etc.). Dans les ZEC, la pression est exprimée en nombre de jours de pêche par unité de surface. Le tableau VI.1 montre la fréquentation relative des ZEC concernées par l'essai du chaulage, ainsi que les valeurs moyennes pour l'ensemble des douze ZEC de la région.

La ZEC Tawachiche, située au sud de la Mauricie, est la plus accessible de la région et subit la pression de pêche la plus forte. Les trois autres ZEC sont situées au nord de la région, dont le centre urbain est La Tuque. La ZEC Bessonne est la plus rapprochée de cette ville, alors que la ZEC Ménokéosawin est la plus éloignée des trois. La pression de pêche caractérisant ces trois ZEC est d'ailleurs à l'inverse de leur distance de La Tuque. À l'échelle régionale, les ZEC Bessonne, la Croche et Ménokéosawin sont respectivement deuxième, troisième et septième en pression de pêche par km^2 de surface.

De même, la distribution de la pression de pêche à l'intérieur d'une ZEC dépend en partie de l'accessibilité (qualité du réseau routier), mais aussi des infrastructures d'accueil. Nous verrons plus loin que ces facteurs sont déterminants dans la rentabilisation du chaulage.

VI.1.3 Taux de fréquentation des lacs chaulés

La fréquentation est exprimée selon les mêmes unités que pour l'ensemble de la ZEC, soit en jours de pêche par hectare de superficie

Tableau VI.1 Pression de pêche dans les ZEC.

ZEC	SUPERFICIE		NOMBRE DE LACS	PRESSION[1]	
	TOTALE (km^2)	EN EAU (ha)[2]		JOURS/km^2	JOURS/ha
Bessonne	497	5 500	188	13,6	1,23
La Croche	361	1 520	72	7,1	1,69
Ménokéosawin	308	1 600	130	4,8	0,92
Tawachiche	318	2 150	78	35,3	5,22
Moyenne (12)	609	4 357	183	6,5	0,91

[1] Moyenne de 1982 à 1986.
[2] Lacs de plus de 2 hectares seulement.

Tableau VI.2 Fréquentation dans les trois années précédant le chaulage comparée à celle de la ZEC où se situe le lac.

NOM DU LAC	FRÉQUENTATION EN JOURS / HECTARE			
	ANNÉE-3	ANNÉE-2	ANNÉE-1	ZEC (année)
Boiteau	0,00	0,09	0,09	5,86 (1986)
Dow	0,00	15,60	3,10	1,21 (1984)
Fontaine	0,00	0,05	0,00	5,27 (1984)
Lise	0,00	0,00	0,00	5,27 (1984)
Reine	0,00	0,00	0,00	5,27 (1984)
Vase	0,00	0,00	0,00	5,27 (1984)
Junior*	0,50	7,00	4,50	2,31 (1985)
Matte	0,03	0,00	0,00	2,13 (1984)
Merrill	0,00	0,00	0,00	1,55 (1984)
Milieu	10,50	6,07	4,60	2,01 (1983)
Pins	0,00	0,00	0,00	2,01 (1983)

* Note: La demande dans le cas du lac Junior est consécutive au premier chaulage (1981). Elle était nulle avant celui-ci.

en eau. Au tableau VI.2, la fréquentation, pour les trois années précédant le chaulage, est comparée à celle de la ZEC.

À l'exception des lacs du Milieu et Dow, les lacs étaient très peu fréquentés avant le chaulage. Dans le cas du lac du Milieu, il est probable que la tendance à la baisse, à l'image de celle du succès de pêche, aurait continué en l'absence du chaulage. En général, on juge que la fréquentation d'un plan d'eau donne une bonne appréciation de son potentiel, les pêcheurs délaissant rapidement les "mauvais lacs". Quant au lac Junior, sa fréquentation par les pêcheurs aux années -3 et -2 est la résultante du chaulage de 1981, qui a été suivi d'ensemencements. Ce lac n'avait aucun potentiel de pêche avant ce chaulage (Lemieux, 1981).

VI.2 MÉTHODOLOGIE

Les éléments qui ont été considérés dans le calcul du rapport coût-bénéfice sont les coûts reliés d'une façon directe aux opérations de chaulage et d'ensemencement, et les bénéfices reliés aux revenus générés par la fréquentation accrue du lac. Les coûts reliés à la planification, à l'échantillonnage et au suivi de la qualité de l'eau ont été délibérément omis de l'exercice du fait que ce projet était de nature expérimentale. De cette façon, il sera possible de déterminer si cette méthode de restauration peut se rentabiliser d'elle-même.

L'évaluation des coûts a été faite d'une façon réaliste, c'est-à-dire, en comptabilisant chacune des dépenses directes liées aux opérations, lesquelles ont été regroupées en quatre classes: le produit et son transport, la main-d'oeuvre nécessaire à la préparation du site et à l'épandage comme tel, le matériel, qui inclut les achats divers, les coûts de location de machinerie et de sa réparation, et enfin, les ensemencements qui, à notre avis, doivent être ajoutés aux coûts de récupération des lacs acides.

Les bénéfices ont été estimés en faisant la différence entre la fréquentation avant et après la restauration du site, multipliée par le

revenu moyen annuel généré par jour de pêche pour chacune des associations en 1985. Le choix de l'année 1985 est d'ordre pratique, puisque c'est l'année où les données disponibles sont complètes pour l'ensemble des ZEC concernés. De plus, aucun changement majeur n'est survenu dans la tarification des ZEC durant la période 1983 à 1986.

Les coûts, de même que les bénéfices, ont été amortis sur une période couvrant la durée de persistance des effets du chaulage. Ces derniers ont été reportés sur une base annuelle pour des fins de comparaison inter-lac.

VI.3 RÉPARTITION DES COÛTS

Bien que la calcite soit peu couteuse (12 $ / tonne métrique en 1987) et représente habituellement moins de dix pour cent des coûts d'un projet de chaulage, son transport et sa manipulation consomment environ 50 pour cent du budget d'une telle opération (Tableau VI.3). Les autres frais varient de deux à 17 pour cent et sont directement reliés à la préparation du site, comme la construction de quais, la réparation d'une route, le déblaiement d'un site de déchargement, etc. Les coûts d'ensemencements varient, quant à eux, de 27 à 67 pour cent et contribuent en moyenne à 50 pour cent des coûts totaux de récupération des lacs acides.

Pour le chaulage des lacs accessibles, les coûts par unité de superficie ont varié de 136 à 200 dollars par hectare, tandis que le chaulage des lacs sur la glace (lacs Dow et Merrill) s'est avéré très onéreux, c'est-à-dire 734 et 1 282 $/ha respectivement. Cette option ne s'avère donc pas une solution rentable au Québec à cause des problèmes logistiques liés à notre climat et de l'inefficacité relative de la dissolution de la calcite qui a tendance à former des grumaux sur la glace.

Tableau VI.3 Répartition des coûts selon les catégories de dépenses.

LACS	MÉTHODES D'ÉPANDAGE	COÛTS (pourcentage)				
		CHAUX	TRANSPORT[3]	MAIN-D'OEUVRE	DIVERS	ENSEMENCEMENT
Boiteau	Dissoute sur radeau	5	9	17	5	64
Dow	Manuelle[1] sur glace	9	57	33	1	-
Fontaine	Dissoute sur radeau	6	23	33	11	27
Junior	Sèche chaloupe	8	8	18	-	66
Matte	Dissoute sur radeau	11	11	61	17	-
Merrill	Sèche[2] sur glace	14	31	53	2	-
du Milieu	Dissoute sur radeau	4	4	28	8	56
des Pins	Dissoute sur radeau	5	6	35	10	44

1 Transport jusqu'au lac au moyen d'un hélicoptère.
2 Transport jusqu'au lac au moyen de motoneiges.
3 Transport jusqu'au lac compris.

VI.4 CALCUL DES BÉNÉFICES

Seuls les bénéfices immédiats générés par une fréquentation accrue des plans d'eau chaulés ont été calculés du fait que les objectifs de l'ensemble des projets étaient de récupérer des lacs dépeuplés pour promouvoir la pêche sportive. Il est évident que des avantages indirects, mais difficilement quantifiables, peuvent être considérés. Par exemple, dans la ZEC Tawachiche où le potentiel de pêche est déjà utilisé à près de 75 pour cent, la restauration des lacs acides vise à réduire la pression de pêche sur les populations indigènes d'ombles de fontaine des lacs peu ou pas acides. L'observation du tableau VI.4 permet de voir que les bénéfices directs, pondérés par unité de surface, sont proportionnels à la durée de persistance des effets du traitement, d'une part, et à l'accessibilité qui conditionne la pression de pêche annuelle d'autre part. Le détail du calcul des rapports coûts/bénéfices est présenté au tableau VI.5.

VI.5 ANALYSE BÉNÉFICES-COÛTS

La plupart des lacs répondant aux critères de sélection suivants, i.e. acidité, accessibilité, temps de rétention plus grand ou égal à un an, obtiennent un rapport bénéfices-coûts (B/C) supérieur à l'unité. Parmi les lacs chaulés, trois ne répondent pas aux critères de rentabilité, soit les lacs Dow et Merrill, à cause de leur difficulté d'accès et le lac Matte, à cause d'un temps de rétention inférieur à un an et de la faible productivité du doré jaune. Quant au lac Fontaine, les bénéfices réussissent presque à payer les frais. Toutefois, les difficultés d'accès, un temps de rétention inférieur à un an et le chaulage de trois petits lacs inaccessibles de son bassin versant viennent réduire les bénéfices.

Les lacs obtenant un rappport bénéfices/coûts avantageux (> 1), sont ceux alliant un temps de rétention long (i.e. > 1 an) et une bonne accessibilité. Ainsi, les lacs Boiteau et Junior devraient se rentabiliser facilement à cause du très long temps de rétention. Malgré sa

Tableau VI.4 Rapport bénéfices/coûts par hectare par année des projets de chaulage.

LAC	DURÉE[1] TOTALE (année)	BÉNÉFICES ($/ha/an)	COÛTS ($/ha/an)	RAPPORT BÉNÉFICES/COÛTS
Boiteau	5,0[2]	177	76	2,3
Dow	1,9	-	386	N.R.
Fontaine	2,2	66	81	0,8
Junior	5,0[2]	188	86	2,2
Matte	2,6	15	55	0,3
Merrill	3,1	-	986	N.R.
du Milieu	3,8	79	72	1,1
des Pins	4,2	81	50	1,6

1 Pour calcul voir section IV.3.2
2 Valeur théorique selon Sverdrup (1985)
N.R.: Non rentable

Tableau VI.5 Données servant au calcul des rapports bénéfices/coûts.

LAC	SURFACE (hectare)	PÉRIODE D'AMORTISSEMENT[1] (année)	COÛTS (dollars)					BÉNÉFICES (dollars)		
			CHAUX + TRANSPORT	MAIN D'OEUVRE	DIVERS	ENSEMENCEMENT[2]	TOTAL (ANNUEL)	FRÉQ (j-p)	REVENU MOYEN/j-p	TOTAL (annuel)
Boiteau	27,4	5,0[3]	2 080	2 547	743	5 000	10 370 (2 074)	+ 470[5] (1 an)	10,34	4 860 (4 860)
Dow	4,5	1,9	2 175	1 090	36	-	3 301 (1 737)	N.A.	7,00	N.A.
Fontaine (+ 3 lacs)	42,9 9,0	2,2	2 674	3 026	1 000	2 500	9 200 (4 182)	+ 730	10,34	7 548
Junior	2,9	5,0[3]	225	250	-	1 250	1 725 (345)	+ 220[5]	17,14	3 770 (754)
Matte	179,0	2,6	5 665	15 800	4 335	-	25 800 (9 923)	+ 550[4]	19,52	6 978 (2 684)
Merrill	6,5	3,1	3 813	4 375	145	-	8 333 (2 688)	N.A.	7,00	N.A.
du Milieu	28,5	3,8	760	2 495	690	3 838	7 783 (2 048)	+ 1 081	10,34	8 495 (2 236)
des Pins	13,0	4,2	340	1 121	310	980	2 751 (655)	+ 632	10,34	4 430 (1 055)

1 Calculé selon la durée totale observée (Section IV.3.2).
2 Les ensemencements de soutien sont faits aux deux ans et les coûts sont ramenés sur la période d'amortissement.
3 Valeur estimée selon Sverdrup (1985).
4 Potentiel estimé.
5 Les bénéfices ne sont disponibles que pour une année.
N.A.: Ne s'applique pas.

faible accessibilité, le lac des Pins a eu une bonne fréquentation. De plus, son temps de rétention moyennement long fait en sorte que le seuil de rentabilité a été facilement atteint. Quant au lac du Milieu, le seuil de rentabilité a tout juste été atteint, ceci étant principalement attribuable à sa grande accessibilité.

Cette étude montre que les principaux critères de rentabilité économique sont faciles à évaluer dans un projet de restauration d'un lac acide à omble de fontaine. Par contre, dans le cas des lacs à touladi, à doré jaune et autres espèces peu disponibles en pisciculture, les coûts de réimplantation augmentent de façon exponentielle et ne peuvent jamais rencontrer le seuil de rentabilité immédiate. Par exemple, en estimant les revenus qui seraient générés par l'exploitation du doré jaune aux lacs Matte et Georges (en aval), on constate qu'ils ne permettraient même pas de couvrir les frais reliés au chaulage.

CONCLUSION

Les plans d'eau considérés dans cette étude montrent une grande diversité, tant sur le plan hydrologique, morphométrique que physico-chimique, mais sont tous géographiquement rapprochés. De plus, on considère que la qualité et la quantité des précipitations qui les affectent sont comparables.

Quelle que soit l'origine de l'acidité (naturelle ou aéroportée), la réaction des plans d'eau au chaulage est semblable. Le pH (+0,1 à +1,6 unité), l'alcalinité (+4,7 à +11,6 mg/L), le calcium (+2 à +5,2 mg/L) et la conductivité (0 à +24,7 µS/cm) montrent une forte augmentation, alors que diminue la dominance des anions sulfates (-18 à -52 pour cent) et des anions organiques (-3 à -21 pour cent) au profit de la dominance des anions bicarbonates (+19 à +67 pour cent). Des autres composantes chimiques analysées, seul l'aluminium filtré (baisse de 0 à 100 µg/L) aurait été influencé par le chaulage, inversement à la hausse du pH. Dans trois cas seulement (lacs Matte, du Milieu et des Pins), la productivité (estimée par les nitrates) aurait augmenté dans les deux années suivant le chaulage (+0,20 à +0,30 mg/L), augmentation à laquelle on pourrait relier une hausse de la couleur (+10 à +40 Hazen) et du carbone organique dissous (0 à +5 mg/L). Le retour aux conditions d'origine s'est toutefois fait très rapidement.

Au point de vue physico-chimique, le comportement des plans d'eau suit un patron comparable en certaines périodes de l'année. Le printemps est caractérisé par une baisse de pH et un accroissement de la concentration relative de sulfates causés par les apports des eaux de fonte. Le volume de ces eaux étant très important, ce phénomène amoindrit rapidement l'efficacité du chaulage, le pH chutant brusquement sous le seuil biologiquement acceptable (5,5 unités de pH). À l'automne, l'isothermie cause le mélange des eaux de surface et de fond, permettant ainsi d'augmenter la minéralisation globale. Les lacs plus profonds, où le volume d'eau contenu dans l'hypolimnion est important, ont donc pu résister plus longtemps grâce à la réserve d'alcalinité que

constitue la calcite qui y est déposée. C'est le cas, entre autres, des lacs Junior, Matte, des Pins et du Milieu.

Outre leur intérêt pour combattre les effets de l'acidité, les différentes techniques et approches de chaulage ont été expérimentées en tant que méthodes d'aménagement. Cette étude a permis de montrer l'avantage d'utiliser la calcite pré-dissoute par rapport à la calcite sèche pour améliorer le taux de dissolution instantanée. De même, cette dissolution instantanée peut être influencée par la vitesse d'épandage, qui est responsable d'une dissolution plus ou moins grande de la calcite. Les lacs chaulés sur la glace montrent, quant à eux, une faible dissolution initiale de la calcite, mais comme pour les lacs traités à la calcite sèche, la concentration de calcium augmente lentement dans les mois qui suivent, contrairement à ce qui est observé dans les autres lacs où l'augmentation est plus rapide. La persistance des effets du traitement serait surtout reliée aux caractéristiques hydrologiques et morphométriques du plan d'eau, mais aussi à la désactivation chimique qui peut survenir dans des eaux fortement colorées. La durée efficace des effets d'un chaulage, qui peut être définie comme le laps de temps où peut être maintenu un pH supérieur à 5,5, n'est toutefois pas corrélée à la persistance des effets du traitement. Le dosage utilisé (entre 20 et 30 g/m^3 de calcite) permet d'espérer une durée efficace d'environ trois ans pour un lac stratifié caractérisé par un temps de rétention d'une année.

L'ensemencement subséquent des lacs chaulés serait plus avantageux que celui des lacs non chaulés, qu'ils soient acides ou non acides. À pression de pêche égale, la recapture des poissons ensemencés a été supérieure après chaulage (+15 à +44 pour cent). Les valeurs brutes sont également supérieures à la moyenne régionale, ainsi qu'aux taux rapportés par la littérature. D'autre part, au lac Junior, une quantité deux fois plus grande de produit utilisée (27 vs 15 g/L) pourrait expliquer le plus haut taux de survie (64 pour cent) observé après le chaulage à la calcite, comparativement à celui observé après traitement à la chaux hydratée (22 pour cent). La nature du produit lui-même n'aurait eu qu'une importance secondaire.

Le bénéfice économique est également fonction de la persistance des effets du chaulage (période d'amortissement des coûts), mais l'accessibilité joue un rôle tout aussi important. La difficulté d'accès, la construction d'infrastructures, la nécessité du traitement des lacs en amont sont autant d'éléments qui augmentent les coûts du chaulage d'un lac. La pression de pêche, seul indice de rentabilité retenu ici, est également conditionnée par la facilité d'accès. A l'exception du lac Fontaine, (temps de rétention de 0,39 an), les lacs exploités ont tous atteint ou presque le seuil de rentabilité. Un temps de rétention supérieur à un an et une accessibilité facile minimisent les coûts et favorisent l'exploitation subséquente. Ces critères devraient garantir la rentabilité d'un projet de chaulage dans le cas où l'espèce-cible est l'omble de fontaine.

D'autres considérations n'ont été qu'effleurées dans cette étude. Par exemple, si la demande est forte dans un secteur, la récupération de plans d'eau permet de canaliser la demande pour la pêche et de réduire la pression de pêche sur les lacs voisins et leurs populations indigènes. La qualité des eaux en aval des lacs chaulés profitera également du traitement (projet des lacs Dow et Merrill), créant des conditions moins critiques (oeufs et alevins, autres maillons de la chaîne alimentaire, etc.). La pertinence du chaulage d'un plan d'eau devrait tenir compte de telles considérations dans la mesure où elles s'appliquent.

RÉFÉRENCES

ANONYME. 1980. Norme SI: Pierre à chaux agricole, ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme, Bureau des normes du Québec, rapport BNQ 0419-070.

BEAUDET, S., et L. HOULE. 1987. Restauration du potentiel de pêche aux lacs Matte et Georges de la ZEC la Croche, phase II, rapport manuscrit.

BEAUDET, S. 1983. Plan de restauration du potentiel de pêche sur le bassin hydrographique du lac Matte, Z.E.C. la Croche, rapport manuscrit, 18 pages.

BENGTSSON, B., W. DICKSON, et P. NYBERG. 1980. "Liming acid lakes in Sweden", dans Ambio, 9(1).

CLAYTON, J.S., W.A. EHRLICH, D.B. CANN, J.H. DAY, et I.B. MARSHALL. 1978. Soils of Canada, Research Branch, Department of Agriculture, 2 volumes, 2 cartes,

DUFOUR, D., F. ROBERT, et C. DUPONT. 1974. Maintien de la qualité biochimique du lac Solitaire trois ans après l'introduction d'un tampon, rapport manuscrit, Université Laval, 12 pages.

DUFOUR, D., J.P. FAUTEUX, M. FAUCHER, et F. ROBERT. 1972. Essai de normalisation de la qualité biochimique de l'eau du lac Solitaire, rapport manuscrit, Université Laval, 11 pages.

DUPONT, J. 1986. Évolution spatiale et temporelle de l'acidité de 14 lacs de la région de Portneuf pour la période 1982-1983, ministère de l'Environnement du Québec, Direction des relevés aquatiques, rapport N^{o} PA-21, 97 pages.

DUPONT, J. 1985. Étude de la variabilité spatiale de la physico-chimie des lacs de la région de l'Outaouais, en relation avec les processus d'acidification, ministère de l'Environnement du Québec, Direction des relevés aquatiques, rapport N^{o} PA-17, Envirodoq N^{o} 850744, 134 pages.

DUPONT, J., et H.A. SIMONIN. 1986. Étude comparative de la physico-chimie de plusieurs lacs de la province de Québec et de l'État de New York en relation avec les processus d'acidification, ministère de l'Environnement du Québec et New York State Department of Environmental Conservation, rapport N^{o} PA-25, 94 pages.

FLICK, W.A., et D.A. WEBSTER. 1964. "Comparative first year survival and production in wild and domestic strains of brook trout (Salvelinus fontinalis)", dans Transactions of the American Fisheries Society, 93 (1): 58-69.

FLICK, W.A., et D.A. WEBSTER. 1962. "Problems in sampling wild and domestic stocks of brook trout (Salvelinus fontinalis)", dans Transactions of the American Fisheries Society, 91(2): 140-144.

GODBOUT, G. 1967. Étude pédologique des comtés de Champlain et de Laviolette, ministère de l'Agriculture et de la Colonisation du Québec, Division des sols, Service de la recherche et de l'enseignement, bulletin technique No 15, 72 pages, 1 carte.

GRIMARD, Y. 1984. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1981-1982-1983, ministère de l'Environnement du Québec, Direction générale des inventaires et de la recherche, Service de la qualité des eaux, rapport N^{O} PA-11, 163 pages.

GRIMARD, Y. 1986. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1984, ministère de l'Environnement du Québec, Direction générale des ressources hydriques, Direction des relevés aquatiques, rapport N^{O} PA-19, Envirodoq N^{O} 850726, 99 pages.

GUNN, V.M. 1986. "Behavior and ecology of salmonid fishes exposed to episodic pH depressions", dans Environmental Biology of Fishes, 17(4): 241-252.

HASLER, A.D., O.M. BRYNILDSON, et W.T. HELM. 1951. "Improving conditions for fish in brown-water bog lakes by alkalization", dans Journal of Wildlife Management, 15(4): 347-352.

JACQUES, G., et Y. GRIMARD. 1987. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec: Sommaire de la qualité des eaux de précipitations 1985, ministère de l'Environnement du Québec, Direction générale du milieu atmosphérique, Direction de la météorologie, rapport N^{O} PA-26, Envirodoq N^{O} 870073, Acidoq N^{O} AC873001, 73 pages.

LACHANCE, S. En préparation. Performance après ensemencement de trois lignées d'omble de fontaine, Salvelinus fontinalis Mitchell, Thèse de maitrise, Univesité du Québec à Trois-Rivières.

LAURIN, A.F., et K.N.M. SHARMA. 1975. Région des rivières Mistassini, Péribonca, Saguenay (Grenville 1965-1967), ministère des Richesses Naturelles, Direction générale des mines, Service de l'exploration géologique, rapport géologique N^{O} 161, 89 pages, 10 pages.

LEMIEUX, M. 1981. Chaulage d'un lac acide dans la Z.E.C. Ménokéosawin, Ministère du Loisir, Chasse et Pêche, région de Trois-Rivières, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, rapport manuscrit, 10 pages et annexes.

MAGNAN, P. 1982. Étude de la sensibilité aux précipitations acides de 22 lacs du Parc national de la Mauricie, Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, région de Québec, 44 pages.

MARTIN, H.C. 1986. Activités de recherche au Canada sur le TGDPA et les précipitations acides, Catalogue publié par le Bureau fédéral de liaison du TGDPA, Service de l'Environnement atmosphérique, Environnement Canada, 318 pages et annexes.

Mc DONALD, D.G. 1983. "The effects of H^+ upon the gills of freshwater fish", dans Canadian Journal of Zoology, 61: 691-703.

OLIVER, B.G., E.M. THURMAN, et R.L. MALCOM. 1983. "The contribution of humic substances to acidity of colored natural waters", dans Geochimica et Cosmochimica Acta, 47: 2031-2035.

POWER, G. 1980. "The brook charr, Salvelinus fontinalis", in Perspective in vertebrate science, CHARRS, Salmonid fishes of the genius Salvelinus, Eugene K. Balen (ed.), Dr. W. Junk BV Publishers, La haye, Netherlands, p. 141-203.

RICKER, W.E. 1975. "Computation and interpretation of biological statistics of fish populations", dans Fisheries Research Board of Canada Bulletin, 191: 382.

RONDOT, J. 1978. Région du Saint-Maurice, ministère des Richesses Naturelles du Québec, Direction générale de la recherche géologique et minérale, rapport DPV-594, 85 pages.

SANDERS, W.P., D.L. BRITT, J.D. KINSMAN, J. De PINTO, P. RODGERS, S. EFFLER, H. SVERDRUP, et P. WARFVINGE. 1985. APMP Guidance manual - Volume I: APMP Research requirements, U.S. Fish and Wildlife service, Eastern Energy and Land Use Team, Biology Report 80 (40.24), 207 pages.

SCHOFIELD, C.L., S.P. GLOSS, et D. JOSEPHSON. 1986. Extensive evaluation of lake liming, restocking strategies and fish population response in acidic lakes following neutralization by liming, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington D.C., Interim Progress Report N.E.C.-86/18.

SHILTS, W.W., K.D. CARD, W.H. POOLE, et B.V. SANDFORD. 1981. Sensitivity of Bedrock to acid precipitation: Modification by glacial processes, Paper 81-14, Geological Survey of Canada, 7 pages, 3 cartes.

SVERDRUP, H. 1985. Calcite dissolution kinetics and lake neutralization, Ph.D. Thesis, Lund Institute of Technology, Sweden, 84 pages.

SVERDRUP, H., P. WARFRINGE, et L. MOLOT. 1985. A Scandinavian reacidification model for limed lakes used to predict the reacidification of limed lakes in Nova Scotia and Ontario, Canada, Department of Chemistry Engineering, Lund, Sweden, Technical report GB73B, 17 pages.

SVERDRUP, H., R. RASMUSSEN, et I. BJERLE. 1984. "Simple model for the reacidification of limed lakes, taking the simultaneous desactivation and dissolution of calcite in the sediments into account", dans Chem. Scripta, 24: 53-66.

SVERDRUP, H., et I. BJERLE. 1983. "The calcite utilization efficiency and the long term effect on alkalinity in several swedish lake liming projects", dans Vatten, 39: 41-54.

SVERDRUP, H. 1983. "Lake liming", dans Chem. Scripta, 22: 8-14.

TAYLOR, B.W. 1944. Fertilizing lakes. An illustrated lecture delivered to the anglers association of the province of Québec, March 6, 1944, Department of game and fisheries of Québec, rapport interne, 16 pages et annexes.

VÉZINA, R., et L. SAMSON. 1976. L'estimé des populations de truites mouchetées (Salvelinus fontinalis) selon la méthode de Leslie pour l'établissement des "quotas" de pêche des lacs du Parc des Laurentides et de la Réserve de Portneuf, Province de Québec, ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement de la faune, district de Québec, rapport interne, 10 pages + annexes.

VINCENT, R.E. 1960. "Some influence of domestication upon three stocks of brook trout (Salvelinus fontinalis Mitchill), dans Trans. Amer. Fish. Soc., 89: 35-52.

WILSON, C.V. 1971. Le climat du Québec. Première partie: Atlas climatique, Service météorologique du Canada, Études Climatologiques N^{O} 11.

WRIGHT, R.F., et E. SNEKNIK. 1978. "Chemistry and fish populations in 700 lakes in southernmost Norway", dans Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol., 20: 765-775.

WISNIEWSKI, V., R.W. BROCKSEN, W.H. EIFERT, et B. BENGTSSON. 1985. A practical approach to the selection of surface waters for liming, Wisniewski and Associates, Technical report, 19 pages.

YAN, N.D., et al . 1985. "Richness of aquatic macrophyte floras of soft water lakes of different pH and trace metal content in Ontario, Canada", dans Aquatic Botany, 23: 27-40.

ANNEXE 1

MÉTHODE ET PARAMÈTRES DE CALCUL DU TEMPS DE RÉTENTION

ANNEXE 1

MÉTHODE ET PARAMÈTRES DE CALCUL DU TEMPS DE RÉTENTION.

Le temps de rétention est une valeur qui varie continuellement, étant fonction des précipitations. Comme ces dernières peuvent varier de plus de 20 pour cent en volume d'une année à l'autre, et que de plus, le volume d'eau en mouvement dans le système hydrologique particulier d'un lac est fonction de l'état de la nappe phréatique et de l'évapotranspiration (entre autres), le temps de rétention ne peut être évalué avec exactitude que par le suivi du débit de l'émissaire. Un tel suivi était hors de question pour les projets dont il est question ici. Il a donc été nécessaire d'estimer le temps de rétention à partir des données morphométriques, topographiques et météorologiques locales. Au moment du chaulage des premiers lacs, seules les données historiques permettaient l'évaluation du temps de rétention. Ces données provenaient de la station de La Tuque (moyenne 1951-1980) et de celle de Rivière-à-Pierre (moyenne 1975-1980). Ce sont ces données qui sont présentées au chapitre II.

Le comportement réel des lacs a toutefois été très variable au cours de l'étude. Le tableau suivant (Tableau 1.1) montre les données climatologiques de la région de Grande-Anse en Mauricie, laquelle est située à la latitude des lacs de la ZEC Tawachiche, et un peu à l'ouest de la longitude moyenne des lacs traités. L'évapotranspiration potentielle a été estimée par la méthode de Thorntwaite (latitude, déclinaison et température mensuelle moyenne). La hauteur de la colonne d'eau en mouvement est déduite à partir des précipitations totales et de l'évapotranspiration. Ces données sont considérées sur la base de l'année hydrologique (de octobre à septembre), ce qui permet d'imputer au même cycle, l'ensemble des précipitations nivales.

Tableau 1.1 Données annuelles de la station Grande-Anse.

PÉRIODE	PRÉCIPITATION TOTALE (mm)	ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (mm)	HAUTEUR DE LA COLONNE	
			RÉSIDUELLE	(% TOTALE)
1982-83	985,0	544,9	440,1	44,6
1983-84	900,2	489,3	410,9	45,6
1984-85	861,5	429,4	369,1	42,8
1985-86	988,7	505,7	483,0	48,8
1986-87	759,0	575,8	183,2	24,1

L'évaluation de l'évapotranspiration sert principalement à l'agriculture, car elle permet d'irriguer les cultures en fonction d'un indice de dessèchement. L'utilisation de cette variable pour déduire le temps de rétention est limitée, car elle ne tient pas compte de l'état de sécheresse qui limite l'évapotranspiration réelle. Néanmoins, la masse d'eau résiduelle est plus réaliste estimée par cette méthode qu'en ne tenant compte que des précipitations.

Une autre méthode indirecte consiste à déduire cette masse d'eau résiduelle des rivières dont le débit est mesuré. Le tableau suivant (Tableau 1.2) montre, pour une année moyenne (1983-84), la hauteur de

Tableau 1.2 Colonne résiduelle selon le débit des rivières et la précipitation totale de 1983-84 (station Grande-Anse).

RIVIÈRE	PRÉCIPITATION TOTALE (en mm)	SUPERFICIE (en km^2)	DÉBIT (m^3)	% DU DÉBIT SUR LE VOLUME TOTAL
Batiscan	900,2	4 480	9,77E08	70,0
La Croche	900,2	1 570	3,44E09	57,5
Portneuf	900,2	355	3,20E08	81,1
Sainte-Anne	900,2	1 550	1,73E09	108,5
Sainte-Anne	900,2	642	6,50E08	97,9

la colonne résiduelle déduite pour les rivières de bassins limitrophes en utilisant les précipitations enregistrées à la station Grande-Anse. Ceci met en évidence les variations spatiales des précipitations, qui sont surement plus fortes dans le bassin de la rivière Sainte-Anne où l'évaluation actuelle donne un débit supérieur à celles-ci.

Le dernier tableau (Tableau 1.3) montre les valeurs annuelles du temps de rétention calculé pour chaque lac en fonction du volume d'eau en mouvement dans le bassin selon les données météorologiques et le débit des rivières Batiscan et La Croche. D'une année à l'autre, le temps de rétention peut varier d'un facteur de trois à un. C'est le cas de l'année 1986-87 (chaude et peu de précipitation) qui suit une année plus froide et pluvieuse. Pour les calculs de pertes en calcite, nous utiliserons une valeur moyenne entre le temps de rétention calculé d'après les données météorologiques et celui déduit du débit de la rivière La Croche, en supposant que la première exagère l'évapotranspiration réelle, alors que la suivante la sous-estime en tête de bassin.

La rivière La Croche est située au nord de la région de la Mauricie, alors que les autres sont plutôt à l'est où les précipitations sont réputées plus abondantes. Le tableau 1.4 reprend les données du tableau 1.1 pour comparer l'importance relative de la colonne résiduelle avec celles estimées des rivières Batiscan et La Croche.

Tableau 1.3 Temps de rétention des lacs chaulés selon les années hydrologiques.

Tableau 1.3a Temps de rétention déduit des données météorologiques (précipitation totale moins évapotranspiration potentielle(Thorntwaite))

		PÉRIODE	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	MOYENNE
SURF BASSIN (ha)	VOLUME DU LAC (m^3x1000)	PREC. TOTALE (mm)	985	900	862	989	759	899
		ÉVAPOTSP. POT. (mm)	545	489	492	506	576	522
		COLONNE RÉSID. (mm)	440	411	369	483	183	377
249	3197	Boiteau	2,92	3,12	3,48	2,66	7,01	3,40
50	67	Dow	0,31	0,33	0,36	0,28	0,73	0,36
11	122	Junior	2,45	2,62	2,92	2,23	5,87	2,85
1160	1956	Fontaine	0,38	0,41	0,46	0,35	0,92	0,45
3449	12880	Matte	0,85	0,91	1,01	0,77	2,04	0,99
183	195	Merrill	0,24	0,26	0,29	0,22	0,58	0,28
249	1055	du Milieu	0,96	1,03	1,15	0,88	2,31	1,12
101	608	des Pins	1,37	1,47	1,64	1,25	3,30	1,60

Tableau 1.3b Temps de rétention déduit du débit des rivières (précipitation totale moins le débit spécifique, rivière La Croche)

		PÉRIODE	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	MOYENNE
SURF BASSIN (ha)	VOLUME DU LAC (m^3x1000)	PREC. TOTALE (mm)	985	900	862	989	759	899
		COLONNE RÉSID. (mm)	802	517	485	587	347	548
249	3197	Boiteau	1,60	2,48	2,65	2,19	3,70	2,34
50	67	Dow	0,17	0,26	0,28	0,23	0,39	0,25
11	122	Junior	1,34	2,08	2,22	1,83	3,10	1,96
1160	1956	Fontaine	0,21	0,33	0,35	0,29	0,49	0,31
3449	12880	Matte	0,47	0,72	0,77	0,64	1,08	0,68
183	195	Merrill	0,13	0,21	0,22	0,18	0,31	0,19
249	1055	du Milieu	0,53	0,82	0,87	0,72	1,22	0,77
101	608	des Pins	0,75	1,17	1,25	1,03	1,74	1,10

Tableau 1.3c Temps de rétention déduit du débit des rivières (précipitation totale moins le débit spécifique, rivière Batiscan)

		PÉRIODE	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	MOYENNE
SURF BASSIN (ha)	VOLUME DU LAC (m^3x1000)	PREC. TOTALE (mm)	985	900	862	989	759	899
		COLONNE RÉSID. (mm)	816	630	610	734	497	657
249	3197	Boiteau	1,57	2,04	2,10	1,75	2,58	1,95
50	67	Dow	0,16	0,21	0,22	0,18	0,27	0,20
11	122	Junior	1,32	1,71	1,76	1,47	2,16	1,64
1160	1956	Fontaine	0,21	0,27	0,28	0,23	0,34	0,26
3449	12880	Matte	0,46	0,59	0,61	0,51	0,75	0,57
183	195	Merrill	0,13	0,17	0,17	0,15	0,21	0,16
249	1055	du Milieu	0,52	0,69	0,69	0,58	0,85	0,64
101	608	des Pins	0,74	0,99	0,99	0,82	1,22	0,92

Tableau 1.4 Colonne résiduelle en pourcentage des précipitations totales, selon l'évapotranspiration potentielle et le débit des rivières Batiscan et La Croche.

PÉRIODE	STATION GRANDE-ANSE	RIVIÈRE BATISCAN	RIVIÈRE LA CROCHE
1982-83	44,6	82,8	81,4
1983-84	45,6	70,0	57,5
1984-85	42,8	70,8	56,3
1985-86	48,8	74,2	59,4
1986-87	24,1	50,3	35,1

ANNEXE 2

LISTE DES DONNÉES BRUTES
CONCERNANT LA PHYSICO-CHIMIE DE SEPT LACS CHAULÉS
DE LA RÉGION DE LA MAURICIE

ANNEXE 2

PRÉSENTATION DES PARAMÈTRES

DATE : Date d'échantillonnage (an - mois - jour)
PER : Période d'échantillonnage (1 à 25)
pH : pH mesuré en laboratoire (unité)
COND : Conductivité mesurée en laboratoire (µS/cm)
COUL : Couleur vraie (unité Hazen)
ALC : Alcalinité totale (mg/L $CaCO_3$)
SO_4 : Sulfates (mg/L SO_4^{2-})
Cl : Chlorures (mg/L Cl)
Na : Sodium extractible (mg/L Na)
K : Potassium extractible (mg/L K)
Ca : Calcium extractible (mg/L Ca)
Mg : Magnésium extractible (mg/L Mg)
Fe : Fer extractible (mg/L Fe)
SiO_2 : Silice (mg/L Si)
NO_x : Nitrates + nitrites (mg/L N)
NH_4 : Azote ammoniacal (mg/L N)
COD : Carbone organique dissous (mg/L C)
T-Al : Aluminium extractible (mg/L Al)
F-Al : Aluminium filtré (mg/L Al)

Annexe 2.1 Données brutes du lac Merrill.

DATE	PER	pH	COND	COU	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS																		
840319	4	5,1	22,4	88	,4	4,0	,2	,9	,2	2,1	,5	,56	8,5	,13	,09	12,8	,23	,20
840523	5	5,7	19,2	60	1,2	4,5	,2	,6	,1	2,3	,4	,26	5,2	,05	,02	9,2	,14	,13
840807	7	6,1	24,0	82	4,6	4,0	,1	1,2	,1	3,8	,5	,41	5,7	,06	,06	1,6	,18	,16
840910	8	6,3	28,3	89	6,4	2,5	,1	,7	,1	4,2	,5	,49	6,7	,06	,08	12,2	,18	,15
841122	9	6,4	27,0	93	4,7	2,5	,8	,8	,2	4,1	,5	,48	7,6	,16	,06	13,8	,20	,16
850115	10	6,3	28,6	91	5,3	3,0	,8	,8	,2	4,3	,5	,47	8,0	,16	,07	13,6	,21	,18
850313	11	6,1	28,0	88	4,9	3,0	,6	,7	,2	4,1	,5	,43	8,3	,13	,03	12,8	,18	,18
850505	12	6,0	25,5	77	4,0	3,5	,2	,6	,2	3,2	,4	,36	7,6	,13	,02	11,2	,15	,15
850916	14	6,2	26,5	87	5,7	2,5	,2	,7	,3	4,6	,5	1,59	4,8	,28	,07	10,2	,15	,12
851103	15	6,1	23,0	100	2,7	5,0	,8	,8	,2	3,2	,5	,58	7,8	,08	,05	14,2	,21	,19
860114	16	6,2	24,5	98	3,0	3,5	,9	,7	,2	3,4	,5	,48	7,6	,11	,07	13,4	,20	,19
ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC																		
840319	4	5,2	22,0	90	,6	3,5	,2	,7	,2	2,0	,5	,63	9,2	,09	,12	13,0	,24	,21
840523	5	5,8	19,6	63	2,1	4,5	,2	,6	,1	2,5	,3	,28	5,4	,06	,02	9,4	,14	,13
840807	7	6,2	31,1	69	8,3	3,5	,2	,6	,1	5,3	,4	,41	7,0	,08	,08	9,6	,15	,12
840910	8	6,3	42,3	83	14,8	1,5	,1	,6	,2	6,4	,5	,70	9,3	,06	,16	9,6	,13	,10
841122	9	6,3	27,0	96	4,7	2,5	,8	,8	,2	4,2	,5	,49	7,8	,16	,06	12,6	,20	,16
850115	10	6,2	29,3	92	5,3	3,0	,9	,8	,2	4,6	,5	,50	8,1	,15	,09	13,4	,23	,17
850313	11	6,1	29,9	91	6,0	2,5	,7	,7	,2	4,8	,5	1,27	9,0	,26	,02	12,8	,18	,18
850916	14	5,9	24,8	91	3,7	3,5	,3	,7	,2	3,3	,4	,56	7,1	,09	,09	12,2	,19	,10
851103	15	6,0	23,0	100	2,8	4,5	,8	,7	,2	3,2	,5	,59	7,8	,08	,04	14,4	,21	,20

Annexe 2.2 Données brutes du lac Dow.

DATE	PER	pH	COND	COU	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS																		
840319	4	6,1	31,0	49	7,9	3,0	,4	,8	,3	2,8	,7	1,30	7,2	,01	,28	6,0	,20	,17
840523	5	6,5	22,2	29	4,8	5,0	,2	,5	,1	3,1	,4	,15	2,3	,01	,03	5,8	,12	,11
840807	7	6,6	34,7	40	12,0	3,5	,2	,5	,2	5,8	,5	,46	1,7	,01	,15	6,0	,01	,08
840910	8	6,6	40,5	45	14,3	2,0	,2	,6	,2	6,8	,6	1,44	2,4	,01	,31	6,6	,09	,06
841122	9	6,4	30,5	40	6,4	4,0	,7	,7	,2	4,1	,6	,20	3,7	,02	,08	8,6	,18	,15
850115	10	6,4	33,9	48	8,4	4,5	,8	,8	,3	5,4	,7	,72	4,6	,02	,22	7,8	1,24	,14
850313	11	6,4	47,4	56	17,8	1,5	,8	,8	,3	6,5	,7	1,71	7,3	,01	,57	8,2	,15	,15
850916	14	6,3	22,1	32	4,0	4,0	,5	,6	,8	2,7	,3	,23	0,8	,01	,03	7,0	,10	,10
851103	15	6,3	20,0	37	2,5	5,5	,6	,7	,2	2,4	,5	,19	1,9	,01	,04	8,4	,17	,14
860114	16	6,6	33,0	49	9,2	5,0	,7	,8	,2	4,0	,6	,70	4,6	,01	,22	8,4	,19	,15
ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC																		
840319	4	6,1	37,0	74	14,2	3,0	,2	,8	,3	3,2	,7	2,40	8,4	,01	,48	7,8	,22	,20
840523	5	6,5	28,8	31	8,4	5,0	,2	,5	,1	3,2	,4	,16	3,5	,01	,01	5,8	,13	,11
840807	7	6,6	54,0	49	21,0	2,5	,3	,5	,2	8,3	,6	,93	3,5	,01	,26	5,8	,13	,09
840910	8	6,5	43,4	43	16,9	2,0	,3	,6	,2	4,6	,5	,23	2,8	,01	,04	6,8	,11	,07
841122	9	6,4	31,4	40	6,9	4,0	,6	,7	,2	4,1	,6	,19	3,7	,02	,07	8,8	,18	,15
850313	11	6,5	60,0	73	26,2	1,0	1,0	,9	,3	8,0	,8	2,62	8,5	,01	,81	8,8	,17	,17
850505	12	5,4	15,7	27	,5	4,0	,2	,5	,1	1,8	,4	,27	3,3	,01	,04	5,4	,33	,14

Annexe 2.3 Données brutes du lac Matte.

ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
840822	7	5,8	20,8	60	1,5	4,0	,3	,7	,3	2,4	,5	,30	1,6	,03	,04	10,0	,14	,11
841122	9	6,8	31,1	65	6,7	4,0	,7	,7	,3	4,5	,5	,57	2,5	,07	,04	9,8	,14	,09
850115	10	6,5	31,8	68	6,2	3,5	,8	,7	,3	4,5	,6	,03	3,1	,14	,02	11,6	,15	,12
850313	11	6,3	33,2	72	6,6	3,5	,8	,8	,3	4,9	,6	1,22	3,5	,18	,01	12,0	,14	,14
850505	12	5,9	25,2	62	2,9	4,0	,3	,6	,4	3,2	,5	,37	3,9	,14	,03	10,8	,14	,14
850819	13	6,0	31,5	76	6,4	3,0	,6	,7	,3	4,5	,5	1,49	4,4	,25	,01	10,6	,24	,11
850916	14	6,0	30,6	80	7,5	3,0	,2	,6	,2	4,7	,4	,78	8,9	,10	,18	10,2	,18	,16
851103	15	6,5	27,0	87	4,3	5,5	1,0	,7	,3	3,9	,5	,60	3,5	,08	,03	14,1	,16	,14
860114	16	6,5	28,2	91	4,4	5,0	1,0	,7	,3	4,0	,5	,53	3,9	,14	,05	13,4	,16	,16
860310	17	6,1	29,3	88	4,2	3,5	,8	,8	,3	4,1	,6	,51	4,5	,16	,02	13,2	,16	,16
860526	18	5,9	22,5	72	2,7	3,5	,6	,6	,3	2,9	,5	,39	3,6	,08	,02	12,0	,15	,15
860716	19	6,0	22,1	72	2,3	2,0	,8	,7	,3	3,0	,5	,31	2,8	,05	,02	11,5	,17	,15
860903	20	6,1	22,3	81	2,5	3,0	,9	,7	,3	3,1	,5	,37	3,2	,05	,04	11,6	,18	,17
861112	21	6,1	22,0	85	2,6	3,0	,7	,7	,2	2,9	,5	,47	4,3	,07	,04	11,4	,19	,16
870119	22	5,9	22,9	82	3,0	3,0	,4	,7	,2	2,9	,5	,48	4,6	,07	,04	11,8	,25	,17
870310	23	5,9	23,0	81	2,6	4,0	,9	,7	,3	2,3	,5	,43	4,9	,12	,03	12,0	,23	,17
870512	24	6,0	21,7	67	2,8	3,5	,6	,7	,3	2,8	,5	,44	4,4	,10	,03	9,4	,18	,15
870714	25	6,0	22,5	59	3,1	3,5	,7	,7	,3	2,8	,5	,22	3,3	,04	,02	10,0	,15	,14

Annexe 2.3 (suite) Données brutes du lac Matte.

ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
840822	7	5,4	23,5	84	2,2	3,5	,3	,7	,3	2,3	,5	1,40	4,8	,13	,15	10,2	,17	,12
841122	9	6,8	31,0	63	7,1	4,0	,7	,7	,3	4,6	,5	,47	2,4	,07	,03	10,0	,13	,13
850115	10	6,1	34,5	83	6,7	3,5	,8	,7	,3	5,0	,6	,04	4,5	,17	,03	12,8	,17	,15
850313	11	6,1	35,7	82	7,6	3,5	,8	,8	,3	5,2	,6	,62	4,7	,18	,01	12,4	,16	,15
850505	12	6,1	35,9	85	8,7	4,0	,4	,8	,3	5,8	,6	,84	5,7	,17	,04	12,2	,15	,15
850819	13	6,2	25,2	83	3,8	3,5	,7	,7	,4	3,6	,5	,73	2,1	,02	,02	13,4	,15	,17
850916	14	6,3	25,5	80	4,8	4,0	,4	,7	,3	3,8	,5	,32	2,3	,04	,06	14,4	,15	,15
851103	15	6,4	27,0	86	4,4	5,0	,9	,7	,3	3,9	,5	,59	3,5	,08	,04	13,4	,16	,14
860114	16	6,4	29,1	97	4,8	5,0	1,0	,7	,3	3,8	,5	,80	4,3	,14	,06	13,8	,24	,15
860312	17	6,0	30,2	105	4,8	3,0	1,0	,8	,3	4,8	,6	1,27	5,1	,18	,04	13,6	,51	,12
860526	18	5,7	23,3	78	2,5	3,0	,6	,6	,3	3,0	,5	,50	3,7	,09	,02	12,8	,19	,16
860716	19	5,8	25,0	98	3,6	1,0	,8	,7	,4	4,5	2,6	3,30	4,5	,09	,17	11,4	1,45	,13
860903	20	5,9	24,3	110	3,8	2,5	1,1	,7	,4	3,5	,5	1,54	4,7	,20	,07	11,0	,20	,17
861112	21	6,1	.	.	2,4	.	.	.	.	3,0	.	.	.	.	.	.	.	.
870119	22	5,7	.	.	4,2	.	.	.	.	3,4	.	.	.	.	.	.	.	.
870310	23	5,6	.	.	3,3	.	.	.	.	3,2	.	.	.	.	.	.	.	.
870512	24	6,1	.	.	2,8	.	.	.	.	2,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870714	25	6,0	.	.	3,1	.	.	.	.	2,9	.	.	.	.	.	.	.	.

Annexe 2.4 Données brutes du lac Junior.

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS																		
850505	12	5,4	9,5	7	,3	2,0	,2	,2	,1	1,0	,1	,06	,1	,02	,04	2,0	,01	,01
850819	13	5,3	8,4	6	,4	1,5	,1	,1	,1	,8	,1	,48	,1	,01	,01	3,0	,02	,02
850916	14	6,0	17,3	7	4,7	2,0	,1	,1	,1	2,7	,1	,12	,2	,01	,03	2,6	,01	,01
851103	15	7,2	28,5	7	11,0	3,0	,1	,1	,1	5,2	,2	,03	,1	,01	,01	2,2	,01	,01
860114	16	7,1	31,0	6	12,8	2,5	,2	,1	,1	5,6	,1	,01	,1	,01	,07	2,2	,01	,01
860312	17	6,8	33,1	6	12,9	2,5	,3	,1	,1	6,0	,2	,02	,1	,01	,07	2,0	,01	,01
860526	18	7,0	27,5	7	10,6	2,0	,1	,1	,1	4,9	,2	,02	,1	,01	,02	2,1	,01	,01
860716	19	7,3	25,0	9	9,4	1,0	,3	,1	,1	4,4	,1	,02	,1	,01	,01	2,2	,01	,01
860903	20	6,8	23,6	8	8,5	2,0	,1	,1	,1	4,3	,2	,02	,1	,01	,03	2,3	,01	,01
861112	21	6,8	26,0	9	9,8	2,0	,1	,2	,1	4,7	,2	,02	,1	,01	,01	2,3	,01	,01
870119	22	6,8	28,0	8	10,5	1,5	,2	,1	,1	4,8	,2	,03	,1	,03	,06	2,6	,04	,01
870310	23	6,6	28,0	8	10,3	2,5	,3	,1	,1	4,8	,2	,04	,2	,06	,05	2,0	,04	,01
870512	24	6,9	26,0	6	9,3	2,0	,2	,1	,1	4,3	,1	,02	,1	,01	,03	2,0	,01	,01
870714	25	7,0	23,0	6	8,2	2,0	,2	,1	,1	4,0	,2	,02	,1	,01	,02	2,6	,03	,01
ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC																		
850505	12	5,5	9,9	8	1,2	1,5	,2	,1	,1	,9	,1	,08	,2	,01	,10	2,0	,01	,01
850819	13	5,0	9,8	9	,7	1,5	,1	,1	,1	,8	,1	,58	,1	,01	,01	2,6	,01	,02
850916	14	7,1	22,0	6	6,9	2,0	,1	,1	,9	3,5	,1	,02	,1	,01	,02	2,6	,01	,01
851103	15	7,2	28,5	7	11,0	3,0	,1	,1	,1	5,2	,2	,03	,1	,01	,01	2,2	,01	,01
860114	16	7,1	35,7	6	14,6	2,5	,3	,1	,1	6,4	,2	,02	,2	,01	,10	2,0	,01	,01
860312	17	6,8	44,1	6	18,5	2,0	,3	,1	,1	8,8	,2	,20	,5	,01	,21	2,0	,01	,01
860526	18	6,7	49,0	7	22,1	2,0	,1	,1	,1	9,1	,2	,09	,2	,01	,08	2,0	,01	,01
860716	19	6,9	43,9	8	19,3	1,0	,2	,1	,1	8,2	,2	,03	,1	,01	,01	2,1	,01	,01
860903	20	6,9	34,9	8	14,0	2,0	,1	,1	,1	6,0	,2	,07	,1	,01	,02	2,2	,01	,01
861112	21	6,9	.	.	10,0	.	.	.	.	4,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870119	22	6,5	.	.	11,3	.	.	.	.	5,1	.	.	.	.	.	.	.	.
870310	23	6,5	.	.	10,3	.	.	.	.	4,9	.	.	.	.	.	.	.	.
870512	24	6,8	.	.	10,8	.	.	.	.	4,7	.	.	.	.	.	.	.	.
870714	25	7,0	.	.	9,6	.	.	.	.	4,3	.	.	.	.	.	.	.	.

Annexe 2.5 Données brutes du lac Fontaine.

ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
840709	6	5,2	21,0	20	,1	5,0	,3	,6	,3	1,6	,3	,14	2,7	,03	,03	5,6	,28	,22
840910	8	5,1	19,4	29	,1	4,5	,1	,5	,2	1,6	,3	,24	2,8	,01	,02	6,2	,28	,22
841122	9	6,5	28,3	38	5,0	4,5	,5	,6	,3	4,0	,3	,39	4,0	,04	,07	2,0	,28	,20
850115	10	6,5	28,6	39	4,6	4,5	,7	,6	,3	3,7	,3	,43	4,1	,10	,08	7,2	,29	,20
850313	11	6,5	28,2	38	4,9	3,5	,6	,6	,3	3,8	,3	,40	4,5	,04	,09	6,8	,27	,25
850505	12	5,8	22,5	33	1,5	5,5	,3	,5	,3	2,6	,3	,32	4,3	,08	,05	6,6	,30	,27
850814	13	5,9	20,7	31	1,8	5,0	,3	,6	,2	2,5	,3	,20	2,2	,01	,01	6,6	,25	,20
850916	14	6,0	29,0	44	6,2	4,5	,3	,5	,3	3,8	,3	,95	4,6	,06	,23	5,8	,33	,24
851103	15	6,1	23,0	34	2,3	6,5	,5	,6	,3	2,8	,3	,41	3,4	,06	,03	6,6	,25	,20
860114	16	6,2	23,5	33	2,1	6,5	,6	,6	,2	2,7	,3	,27	3,6	,06	,05	6,6	,23	,21
860312	17	5,8	23,5	31	2,0	5,0	,5	,6	,3	2,7	,3	,27	4,2	,08	,01	6,6	,23	,22
860526	18	4,8	22,5	38	,9	4,5	,5	,6	,3	1,9	,4	,37	3,3	,06	,02	7,9	,16	.
860716	19	5,2	19,3	30	,7	3,0	,5	,5	,2	1,7	,3	,20	2,3	,01	,02	6,2	,32	,28
860903	20	5,1	18,7	43	,7	4,0	,6	,5	,1	1,6	,3	,30	3,1	,01	,03	7,2	,33	,27
861110	21	5,6	20,0	41	1,1	4,0	,5	,5	,2	1,8	,3	,35	4,2	,04	,06	6,7	,33	,26
870119	22	5,3	18,7	38	,8	4,0	,5	,5	,2	1,7	,3	,36	4,6	,05	,04	6,2	,39	,25
870310	23	5,3	20,0	37	1,1	4,5	,6	,6	,2	1,9	,3	,32	4,5	,04	,03	6,4	,36	,26
870512	24	5,2	18,3	28	,4	4,5	,4	,5	,2	1,6	,3	,25	4,2	,04	,02	4,8	,28	,22
870713	25	5,3	19,3	24	,6	4,5	,4	,5	,2	1,6	,3	,15	2,4	,01	,01	5,3	,25	,25

Annexe 2.5 (suite) Données brutes du lac Fontaine.

ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
840709	6	5,1	21,3	35	,1	4,5	,2	,5	,3	1,6	,3	,78	4,3	,05	,12	5,8	,34	,24
840910	8	5,3	21,0	75	1,4	2,0	,2	,5	,3	1,7	,3	2,38	4,5	,01	,36	7,6	,49	,18
841122	9	6,6	28,5	38	5,1	4,5	,5	,5	,2	4,1	,3	,50	4,0	,11	,11	6,8	,71	,19
850115	10	6,7	52,0	63	17,3	3,5	1,2	,6	,3	10,4	,4	,45	4,8	,16	,41	8,0	,48	,18
850313	11	6,3	30,6	41	5,8	3,0	,5	,6	,2	4,2	,4	,43	4,8	,08	,07	6,6	,27	,24
850505	12	6,2	31,7	40	6,4	5,0	,3	,6	,3	4,7	,4	,61	5,2	,13	,03	6,6	,34	,24
850814	13	6,0	27,0	39	5,1	4,5	,5	,5	,3	4,2	,3	1,53	4,2	,06	,13	3,6	2,13	,24
850916	14	6,3	25,0	47	6,1	3,0	,1	,6	,2	3,4	,5	,77	1,8	,01	,21	9,0	,36	,13
851103	15	6,1	23,0	34	2,2	7,0	,6	,6	,3	2,9	,3	,40	3,4	,06	,03	6,6	,24	,19
860114	16	6,1	24,8	39	2,5	6,0	,7	,6	,2	3,0	,3	,59	4,5	,08	,08	6,8	,66	,24
860312	17	5,9	28,0	60	7,1	4,0	,7	,6	,3	4,1	,4	,06	5,4	,04	,23	8,0	1,51	,26
860526	18	5,2	20,5	32	1,6	5,0	,4	,5	,3	1,9	,3	,31	3,7	,04	,03	7,0	,31	,26
860716	19	5,6	20,9	39	1,8	2,0	,5	,5	,3	2,4	,3	1,50	6,8	,01	,02	5,5	1,05	,18
860903	20	5,6	19,5	34	1,3	4,0	,6	,6	,3	2,2	,3	,56	4,0	,06	,06	5,6	,28	,21
861110	21	5,4	.	.	,9	.	.	.	.	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870119	22	5,8	.	.	6,6	.	.	.	.	2,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870310	23	5,4	.	.	1,6	.	.	.	.	2,0	.	.	.	.	.	.	.	.
870512	24	5,6	.	.	,5	.	.	.	.	1,7	.	.	.	.	.	.	.	.
870713	25	5,9	.	.	2,3	.	.	.	.	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.

Annexe 2.6 Données brutes du lac du Milieu.

ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
831011	1	5,1	20,3	22	,3	5,0	1,0	,8	,7	1,5	,3	,48	1,0	,04	,02	4,8	,25	,13
831115	2	6,6	30,0	34	5,4	3,0	1,2	,8	,7	3,9	,3	,55	1,7	,02	,04	4,3	,17	,13
840124	3	6,4	31,5	33	5,4	5,0	1,2	,9	,8	4,0	,3	,52	2,4	,04	,08	6,6	,18	,11
840312	4	6,3	33,3	37	5,4	4,0	1,2	,9	,9	3,9	,3	,46	2,8	,09	,06	7,6	,20	,15
840508	5	6,4	24,8	37	3,4	3,5	,9	,6	,7	3,1	,3	,41	2,5	,11	,03	3,6	,18	,13
840709	6	6,7	60,0	24	6,0	6,5	6,0	,7	,8	3,0	,3	,29	,6	,08	,05	8,6	,16	,11
840910	8	6,3	24,3	47	3,0	3,0	1,0	,6	,8	2,9	,3	,49	1,3	,05	,09	8,0	,14	,10
841122	9	6,5	27,0	44	3,8	4,0	1,0	,7	,8	3,3	,3	,43	2,0	,10	,06	7,6	,14	,11
850115	10	6,3	27,5	40	3,6	4,0	1,1	,7	,8	3,3	,3	,34	2,2	,15	,10	8,2	,13	,12
850313	11	6,1	27,4	40	3,7	3,0	1,2	,7	,8	3,4	,4	,97	2,7	,14	,10	7,8	,14	,14
850505	12	6,0	26,5	42	3,0	4,0	1,0	,6	,8	2,9	,3	,36	3,0	,26	,09	8,2	,18	,17
850814	13	6,1	23,4	33	2,6	4,0	,9	,6	,8	2,7	,3	,27	,9	,09	,03	7,8	,13	,11
850916	14	5,9	28,4	62	4,4	2,5	,9	,6	,8	3,4	,3	1,82	3,4	,32	,04	7,4	,20	,14
851103	15	6,4	23,0	34	2,8	5,0	1,0	,6	,8	2,7	,3	,42	1,3	,04	,02	7,4	,12	,10
860114	16	6,3	24,7	35	3,6	4,5	1,0	,7	,7	2,9	,3	,30	1,7	,08	,06	7,8	,13	,12
860312	17	5,8	25,6	34	2,6	4,0	1,0	,7	,8	3,0	,4	,30	2,3	,15	,02	8,0	,14	,12
860526	18	5,5	20,0	38	1,3	4,0	,8	,5	,7	2,0	,3	,23	2,2	,08	,01	8,1	,16	,16
860716	19	5,8	19,5	35	1,4	3,0	,9	,6	,7	2,0	,3	,24	1,0	,01	,03	7,6	,17	,16
860903	20	5,6	18,9	50	1,3	3,0	,7	,5	,7	2,0	,3	,38	1,1	,02	,04	8,3	,20	,17
861110	21	5,9	19,3	52	1,6	3,0	,7	,5	,7	2,0	,3	,47	2,0	,08	,06	7,8	,18	,16
870119	22	5,8	20,4	48	2,1	3,0	,8	,5	,7	2,1	,3	,50	2,3	,09	,05	8,0	,25	,17
870310	23	5,7	21,0	46	1,4	4,0	,8	,6	,7	2,1	,3	,46	2,6	,11	,04	7,8	,24	,16
870512	24	5,7	18,3	40	1,1	3,5	,7	,5	,6	1,8	,3	,35	2,4	,09	,03	7,2	,19	,15
870714	25	5,6	19,3	33	1,2	3,5	,7	,5	,6	1,8	,3	,24	,9	,05	,02	6,9	,17	,15

Annexe 2.6 (suite) Données brutes du lac du Milieu.

ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
831011	1	5,3	20,5	58	,7	3,5	,9	,8	,6	1,7	,3	2,10	3,0	,03	,12	5,9	,34	,15
831115	2	6,8	30,0	31	5,5	3,5	1,2	,8	,7	4,0	,3	,57	1,7	,02	,06	4,6	,18	,12
840124	3	6,3	35,0	37	7,6	5,0	1,2	,8	,7	4,8	,4	,63	3,0	,04	,10	6,8	,17	,11
840312	4	6,6	49,3	45	14,8	3,5	1,4	,9	,8	7,3	,4	,82	4,0	,04	,09	7,0	,18	,12
840508	5	6,4	31,4	43	6,7	3,5	1,0	,7	,7	4,0	,3	,61	2,9	,09	,10	3,6	,17	,12
840709	6	6,4	39,5	65	11,7	3,5	,8	,8	,8	5,9	,4	1,58	3,7	,07	,24	6,6	,21	,10
840910	8	6,2	37,7	64	9,6	3,0	1,0	,7	,7	5,7	,4	1,74	3,7	,18	,11	6,6	,18	,08
841122	9	6,4	26,5	44	3,9	3,5	1,0	,7	,8	3,3	,4	,44	2,0	,11	,06	7,6	,13	,11
850115	10	6,2	28,6	41	4,0	3,5	1,1	,7	,8	3,3	,3	,44	2,6	,15	,08	7,8	,16	,12
850313	11	6,0	30,5	54	4,8	3,0	1,2	,7	,8	3,4	,3	,39	3,9	,15	,12	7,8	,14	,14
850505	12	5,9	31,2	59	4,5	4,0	1,2	,7	,8	4,0	,4	,66	4,1	,19	,08	9,8	,21	,19
850814	13	5,8	26,1	43	3,5	3,5	1,1	,6	,8	3,2	,3	,80	2,9	,33	,01	7,2	,17	,12
850916	14	6,1	30,5	49	3,6	4,0	1,2	,8	1,1	3,5	,3	,30	2,0	,18	,05	9,6	,25	,23
851103	15	6,4	23,0	34	2,8	5,0	1,0	,7	,8	2,8	,3	,48	1,3	,04	,02	7,4	,13	,10
860114	16	6,3	27,0	44	3,6	4,5	1,2	,6	,7	2,8	,3	,43	2,8	,10	,10	8,4	,16	,15
860312	17	5,8	27,2	61	3,4	3,5	1,1	,7	,8	3,3	,4	1,14	3,4	,15	,08	8,6	,30	,20
860526	18	5,8	19,5	35	1,4	3,0	,9	,6	,7	2,0	,3	,24	1,0	,01	,03	7,6	,17	,16
860716	19	5,7	22,6	43	2,6	3,5	,8	,6	,7	2,5	,3	,89	2,7	,15	,06	6,6	,20	,13
860903	20	5,7	21,0	52	2,1	3,5	,8	,6	,7	2,3	,3	,80	2,3	,15	,04	7,2	,18	,16
861110	21	5,8	.	.	1,3	.	.	.	.	2,0	.	.	.	.	.	.	.	.
870119	22	5,5	.	.	2,2	.	.	.	.	2,4	.	.	.	.	.	.	.	.
870310	23	5,6	.	.	2,4	.	.	.	.	2,3	.	.	.	.	.	.	.	.
870512	24	5,7	.	.	1,9	.	.	.	.	2,1	.	.	.	.	.	.	.	.
870714	25	5,8	.	.	1,9	.	.	.	.	1,8	.	.	.	.	.	.	.	.

Annexe 2.7 Données brutes du lac des Pins.

ÉCHANTILLONS INTÉGRÉS

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
831011	1	5,0	28,0	57	,1	5,5	1,8	1,2	1,3	1,8	,4	,87	3,1	,02	,02	10,0	,45	,33
831115	2	6,3	34,0	64	3,7	3,0	2,2	1,3	1,3	3,7	,4	,79	3,7	,03	,07	7,6	,43	,27
840124	3	6,2	34,5	55	3,0	5,5	2,0	1,3	1,3	3,6	,4	,47	3,9	,04	,10	10,6	,37	,28
840312	4	6,1	35,0	70	4,0	4,5	2,0	1,2	1,3	3,5	,4	,44	4,0	,06	,06	10,6	,31	,29
840508	5	6,1	28,6	51	2,8	4,5	1,5	,9	1,2	3,0	,3	,39	3,2	,08	,05	5,2	,30	,25
840709	6	6,1	27,6	56	3,3	4,0	1,4	,9	1,2	3,2	,3	,36	2,4	,09	,12	10,2	,30	,28
840910	8	6,1	30,0	69	3,8	3,0	1,3	,8	1,3	3,4	,3	,52	2,8	,07	,13	11,0	,32	,25
841122	9	6,5	36,2	66	6,7	4,0	1,5	,9	1,2	4,6	,4	,53	3,7	,11	,20	11,2	,32	,26
850115	10	6,5	36,8	65	6,4	3,5	1,5	,9	1,3	4,4	,4	,55	3,5	,12	,19	11,2	,31	,27
850313	11	6,3	36,4	66	6,3	3,0	1,6	,9	1,3	4,4	,4	,49	4,1	,14	,21	10,8	,30	,30
850505	12	6,1	32,0	57	3,9	4,0	1,2	,8	1,1	3,6	,4	,45	3,7	,29	,12	10,2	,28	,27
850814	13	6,1	29,8	52	3,6	4,0	1,3	,8	1,1	3,6	,4	,32	2,2	,23	,03	10,2	,27	,26
850916	14	6,6	37,9	78	8,1	3,0	1,3	,8	1,3	4,9	,4	1,88	4,8	,31	,12	10,0	,32	,25
851103	15	6,4	29,5	53	3,9	6,0	1,2	,8	1,1	3,6	,4	,46	3,0	,18	,03	10,6	,24	,22
860114	16	6,4	30,5	54	4,5	5,0	1,5	,8	1,0	3,6	,4	,33	3,0	,19	,06	10,8	,24	,22
860312	17	6,0	30,6	51	3,4	4,0	1,2	,8	1,1	3,7	,4	,34	3,5	,21	,05	10,6	,26	,24
860526	18	5,4	24,7	52	1,3	4,5	,9	,6	1,0	2,5	,3	,26	3,3	,15	,02	16,0	,28	,27
860716	19	5,7	23,0	54	1,6	1,5	,9	,6	,9	2,4	,3	,34	2,2	,10	,05	9,4	,32	,29
860903	20	5,7	21,7	64	1,4	3,0	,8	,6	,8	2,3	,3	,44	2,4	,12	,04	10,1	,34	,33
861110	21	6,5	23,7	67	2,2	3,0	,8	,6	,8	2,6	,3	,66	3,5	,11	,07	9,5	,32	,25
870119	22	5,9	24,0	61	2,7	3,5	,9	,6	,8	2,6	,3	,63	3,5	,10	,06	9,9	,39	,26
870310	23	5,9	24,0	60	2,5	4,0	1,0	,7	,9	2,7	,4	,54	3,7	,10	,04	9,6	,35	,27
870512	24	5,8	21,0	46	1,8	4,0	,9	,6	,7	2,2	,3	,32	3,4	,08	,03	8,4	,28	,16
870714	25	5,6	21,7	44	1,5	4,0	,9	,6	,7	2,1	,3	,28	2,2	,05	,02	9,0	,28	,26

Annexe 2.7 (suite) Données brutes du lac des Pins.

ÉCHANTILLONS RECUEILLIS AU FOND DU LAC

DATE	PER	pH	COND	COUL	ALC	SO_4	Cl	Na	K	Ca	Mg	Fe	SiO_2	NO_x	NH_4	COD	T-Al	F-Al
831011	1	6,0	29,3	79	6,6	,3	3,5	1,5	1,0	1,9	,4	2,00	5,1	,01	,26	12,8	,51	,50
831115	2	6,2	34,0	65	3,8	3,0	2,0	1,2	1,3	3,6	,4	,79	3,7	,03	,07	-9,0	,42	,29
840124	3	6,6	65,0	59	21,0	4,5	2,0	1,3	1,3	11,0	,5	,69	5,0	,01	,38	11,0	,31	,20
840312	4	6,6	63,0	7	20,0	4,0	2,2	1,2	1,4	5,8	,4	,73	5,8	,04	,12	11,2	,36	,23
840508	5	6,6	61,0	83	15,0	3,0	2,0	1,1	1,3	8,4	,4	1,51	5,1	,02	,32	6,2	,37	,21
840709	6	6,4	55,0	72	16,4	3,0	2,1	1,2	1,4	7,9	,4	1,38	5,7	,04	,42	10,8	,32	,21
840910	8	6,5	59,0	97	20,0	,3	2,0	1,1	1,3	8,6	,4	2,80	6,0	,01	,53	11,8	,45	,27
841122	9	6,5	36,1	65	6,6	3,5	1,6	,9	1,3	4,5	,4	,60	3,7	,11	,21	11,2	,32	,25
850115	10	6,5	52,0	87	15,0	3,5	2,0	,9	1,2	6,9	,4	1,06	4,8	,07	,37	11,2	,33	,24
850313	11	6,2	39,4	72	7,6	2,5	1,6	,9	1,2	4,6	,4	1,44	5,0	,13	,23	11,0	,31	,31
850505	12	6,3	45,5	70	10,8	4,0	1,7	,9	1,2	5,8	,4	,75	5,3	,11	,19	11,4	,30	,29
850814	13	6,0	37,4	81	8,2	3,0	1,7	,8	1,2	5,0	,4	1,84	4,3	,32	,08	10,0	,38	,26
850916	14	6,1	23,6	30	1,8	5,0	,2	,6	,2	2,5	,3	,20	2,2	,02	,04	6,4	,22	,19
851103	15	6,4	29,5	53	4,0	6,0	1,2	,8	1,1	3,7	,4	,45	3,0	,18	,03	10,8	,24	,22
860114	16	6,4	36,2	75	7,5	4,0	1,3	,8	1,0	4,2	,4	1,03	4,3	,09	,29	11,6	,32	,26
860312	17	6,1	39,0	125	9,4	2,0	1,5	,8	1,1	5,2	,4	3,87	5,7	,06	,39	13,6	,79	,32
860526	18	5,8	30,0	61	3,5	3,5	1,1	,7	1,0	3,5	,4	,79	4,2	,21	,06	10,0	,26	,24
860716	19	5,9	32,0	84	5,1	2,5	1,1	,8	1,1	3,9	,4	2,80	4,4	,17	,19	10,0	,64	,21
860903	20	6,0	29,0	69	4,1	3,0	1,1	,7	1,0	3,6	,4	1,11	4,3	,28	,06	8,6	,31	,24
861110	21	6,0	.	.	2,4	.	.	.	.	2,7	.	.	.	.	.	.	.	.
870119	22	6,0	.	.	7,4	.	.	.	.	3,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870310	23	5,8	.	.	2,8	.	.	.	.	2,7	.	.	.	.	.	.	.	.
870512	24	6,1	.	.	3,2	.	.	.	.	2,8	.	.	.	.	.	.	.	.
870714	25	6,0	.	.	4,9	.	.	.	.	3,4	.	.	.	.	.	.	.	.

ANNEXE 3

STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE LA QUALITÉ DES EAUX DES LACS CHAULÉS

Annexe 3. Statistiques descriptives de la qualité des eaux des lacs chaulés.

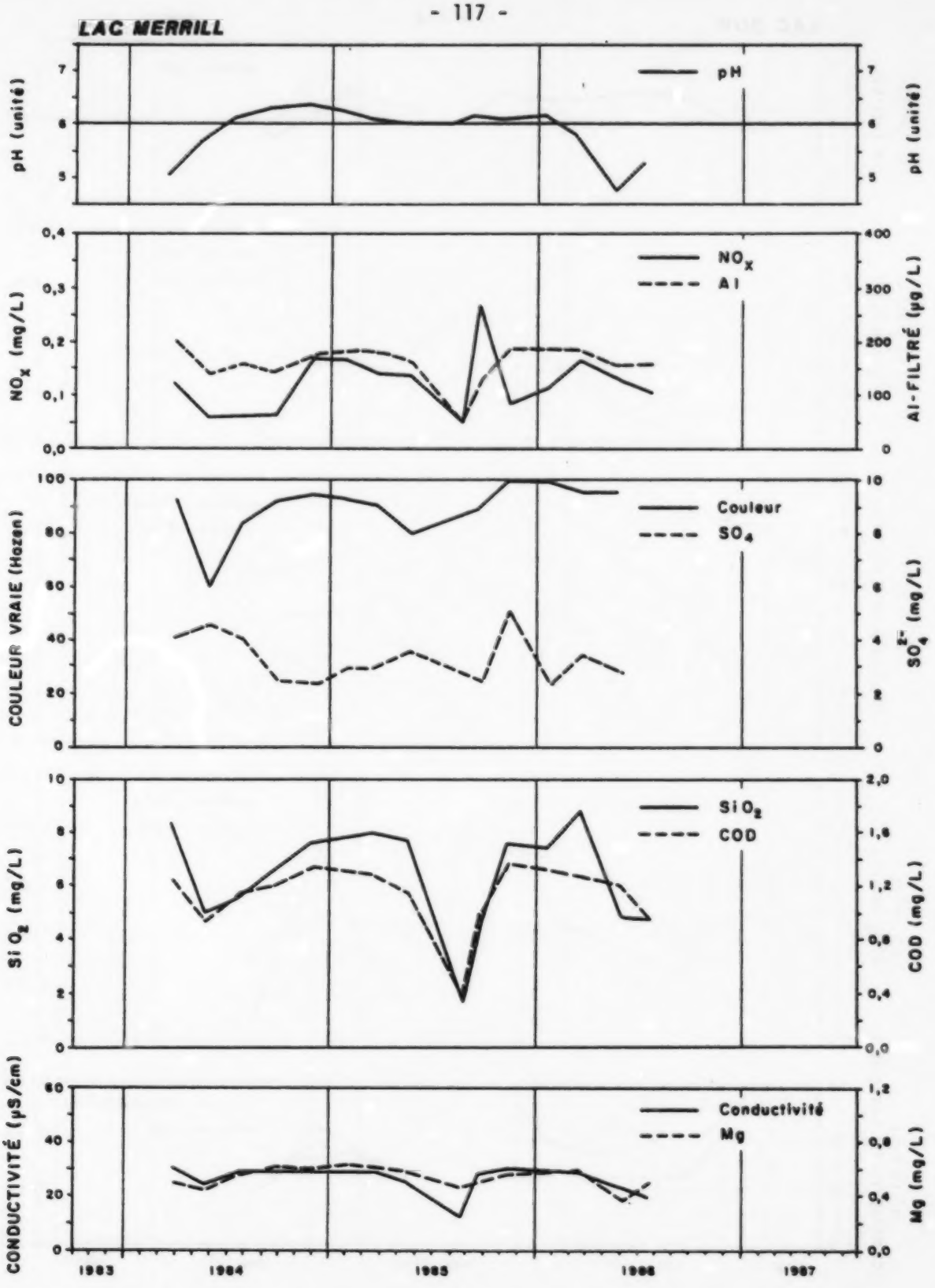
VARIABLE		MERRILL n=14	DOW n=12	MATTE n=18	JUNIOR n=14	FONTAINE n=20	MILIEU n=24	PINS n=24
pH (unités)	x	5,9	6,3	6,1	6,6	5,6	6,0	6,1
	s	0,5	0,3	0,3	0,6	0,5	0,4	0,4
	min	4,8	5,7	5,8	5,3	4,8	5,1	5,0
	max	6,4	6,6	6,8	7,3	6,5	6,7	6,6
Alcalinité (mg/L)	x	3,5	7,9	4,0	8,5	1,8	2,9	3,4
	s	1,9	5,3	1,6	4,0	1,9	1,6	1,9
	min	0,4	1,6	1,9	0,3	0,0	0,3	0,0
	max	6,4	17,8	6,7	12,9	6,2	6,0	8,1
Couleur (Hazen)	x	86	42	75	7	34	39	59
	s	10	8	10	1	6	9	8
	min	60	29	59	6	20	22	44
	max	100	56	91	9	44	62	78
SO_4^{2-} (mg/L)	x	3,4	3,4	3,6	2,0	4,7	3,8	3,9
	s	0,8	1,4	0,8	0,5	0,9	0,9	1,0
	min	2,5	1,5	2,0	1,0	3,0	2,5	1,5
	max	5,0	5,5	5,5	3,0	6,5	6,5	6,0
SiO_2 (mg/L)	x	6,9	3,6	3,9	0,1	3,7	1,9	3,3
	s	1,5	2,4	1,5	0,1	0,9	0,8	0,7
	min	4,8	0,5	1,6	0,0	2,2	0,6	2,2
	max	9,0	7,3	8,9	0,2	5,7	3,4	4,8
NO_x (mg/L)	x	0,13	0,01	0,10	0,02	0,04	0,10	0,12
	s	0,06	0,01	0,06	0,01	0,03	0,07	0,08
	min	0,05	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02
	max	0,28	0,05	0,25	0,06	0,10	0,32	0,31
NH_4^+ (mg/L)	x	0,06	0,19	0,04	0,03	0,05	0,05	0,08
	s	0,02	0,17	0,04	0,02	0,05	0,03	0,06
	min	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
	max	0,09	0,57	0,18	0,07	0,23	0,10	0,21
Cl^- (mg/L)	x	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	1,2	1,3
	s	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	1,0	0,4
	min	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,7	0,8
	max	0,9	0,8	1,0	0,3	0,7	6,0	2,2
Conductivité (µS/cm)	x	24,6	29,5	26,0	23,9	22,4	25,6	29,2
	s	3,0	9,8	4,3	7,4	3,6	8,5	5,4
	min	19,2	16,0	20,8	8,4	18,3	18,3	21,0
	max	28,6	47,4	33,2	33,1	29,0	60,0	37,9

Annexe 3 (suite) Statistiques descriptives de la qualité des eaux des lacs chaulés.

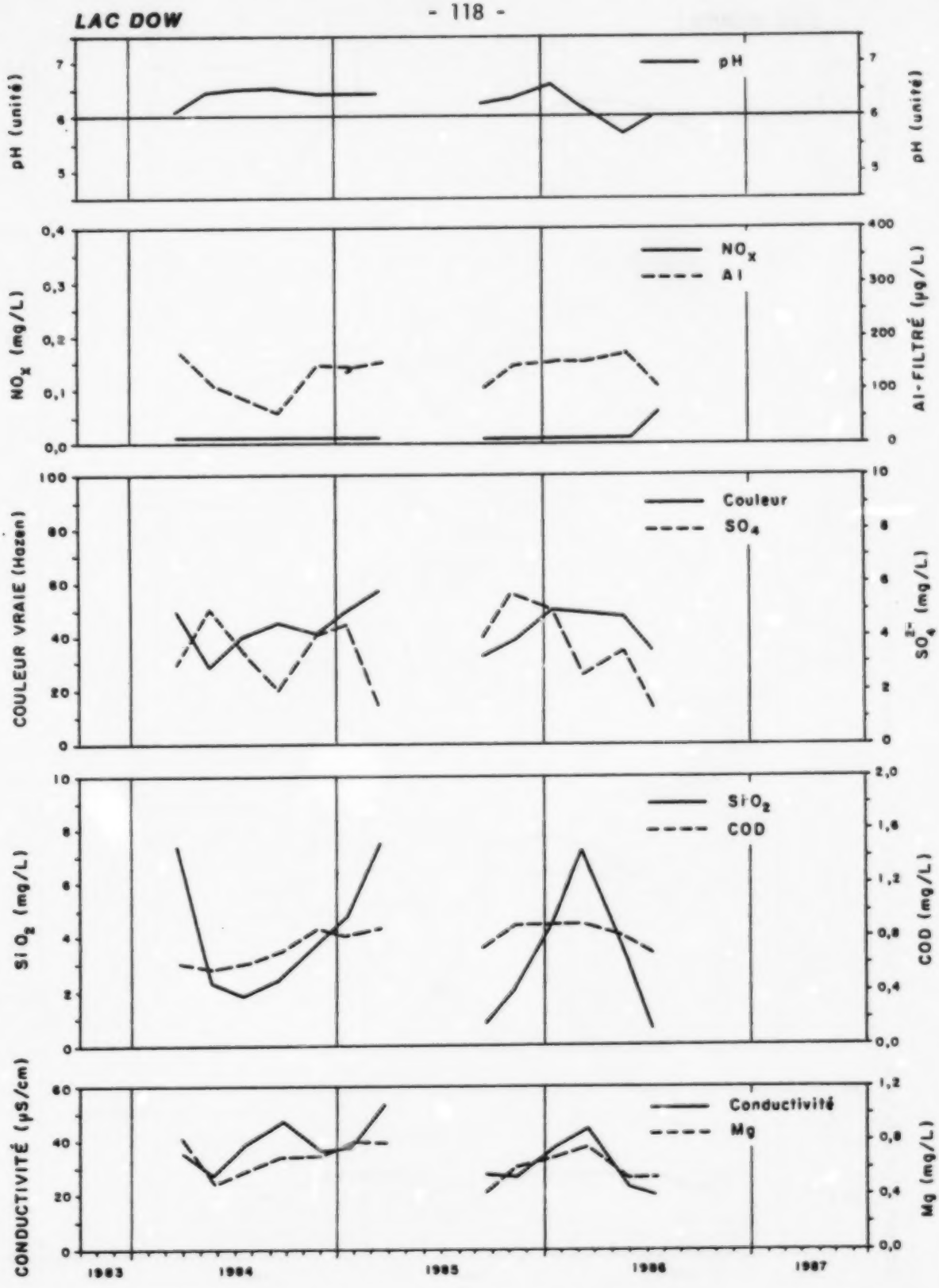
VARIABLE		MERRILL n=14	DOW n=12	MATTE n=18	JUNIOR n=14	FONTAINE n=19	MILIEU n=24	PINS n=24
COD (mg/L)	x	12,2	7,4	11,4	2,3	6,2	7,3	10,1
	s	1,5	1,1	1,3	0,3	1,2	1,3	1,8
	min	9,2	5,8	9,4	2,0	2,0	3,6	5,2
	max	14,2	8,2	14,2	3,0	7,9	8,6	16,0
Ca^{2+} (mg/L)	x	3,3	3,9	3,5	4,1	2,4	2,7	3,3
	s	0,9	1,7	0,9	1,6	0,9	0,7	0,8
	min	1,7	1,7	2,3	0,8	1,6	1,5	1,8
	max	4,6	6,8	4,9	6,0	4,0	4,0	4,9
Mg^{2+} (mg/L)	x	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4
	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
	min	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3	0,3	0,3
	max	0,5	0,7	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4
Na^{+} (mg/L)	x	0,8	0,7	0,7	0,1	0,6	0,6	0,8
	s	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	min	0,5	0,5	0,6	0,1	0,5	0,5	0,6
	max	1,2	0,9	0,8	0,2	0,6	0,9	1,3
K^{+} (mg/L)	x	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7	1,1
	s	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
	min	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,6	0,7
	max	0,3	0,8	0,4	0,1	0,3	0,9	1,3
Fe (mg/L)	x	0,42	0,69	0,53	0,07	0,33	0,47	0,53
	s	0,11	0,60	0,34	0,12	0,17	0,33	0,33
	min	0,20	0,15	0,03	0,01	0,14	0,23	0,26
	max	0,58	1,71	1,49	0,48	0,95	1,82	1,88
F-Al (mg/L)	x	0,17	0,13	0,15	0,01	0,23	0,14	0,26
	s	0,03	0,04	0,02	0,00	0,03	0,02	0,04
	min	0,12	0,06	0,09	0,01	0,16	0,10	0,16
	max	0,20	0,20	0,17	0,02	0,28	0,17	0,33
T-Al (mg/L)	x	0,20	0,18	0,17	0,02	0,28	0,17	0,32
	s	0,04	0,11	0,04	0,01	0,05	0,04	0,05
	min	0,14	0,09	0,14	0,01	0,20	0,12	0,24
	max	0,30	0,50	0,25	0,04	0,39	0,25	0,45

ANNEXE 4

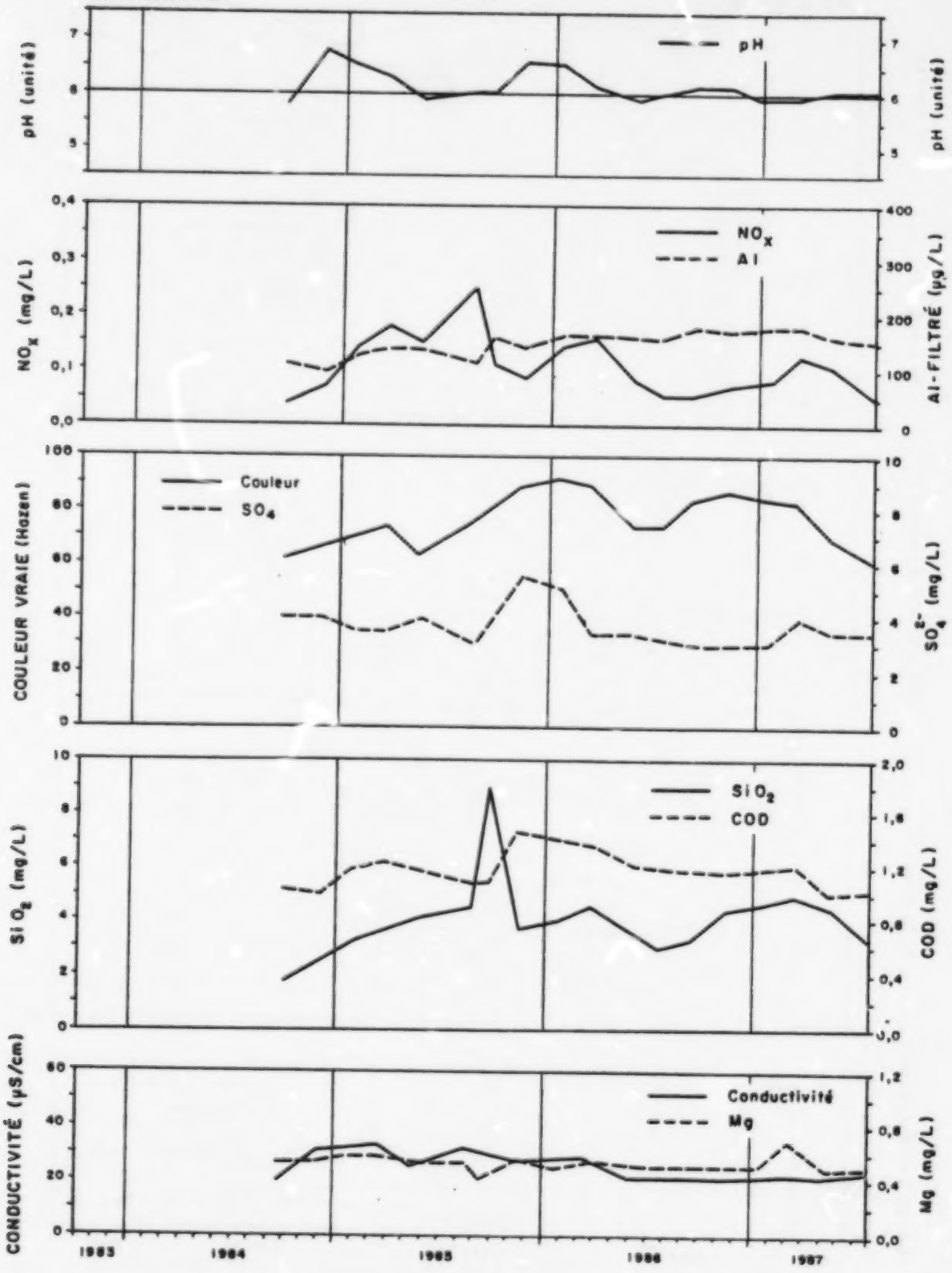
ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DES LACS CHAULÉS À LA CALCITE



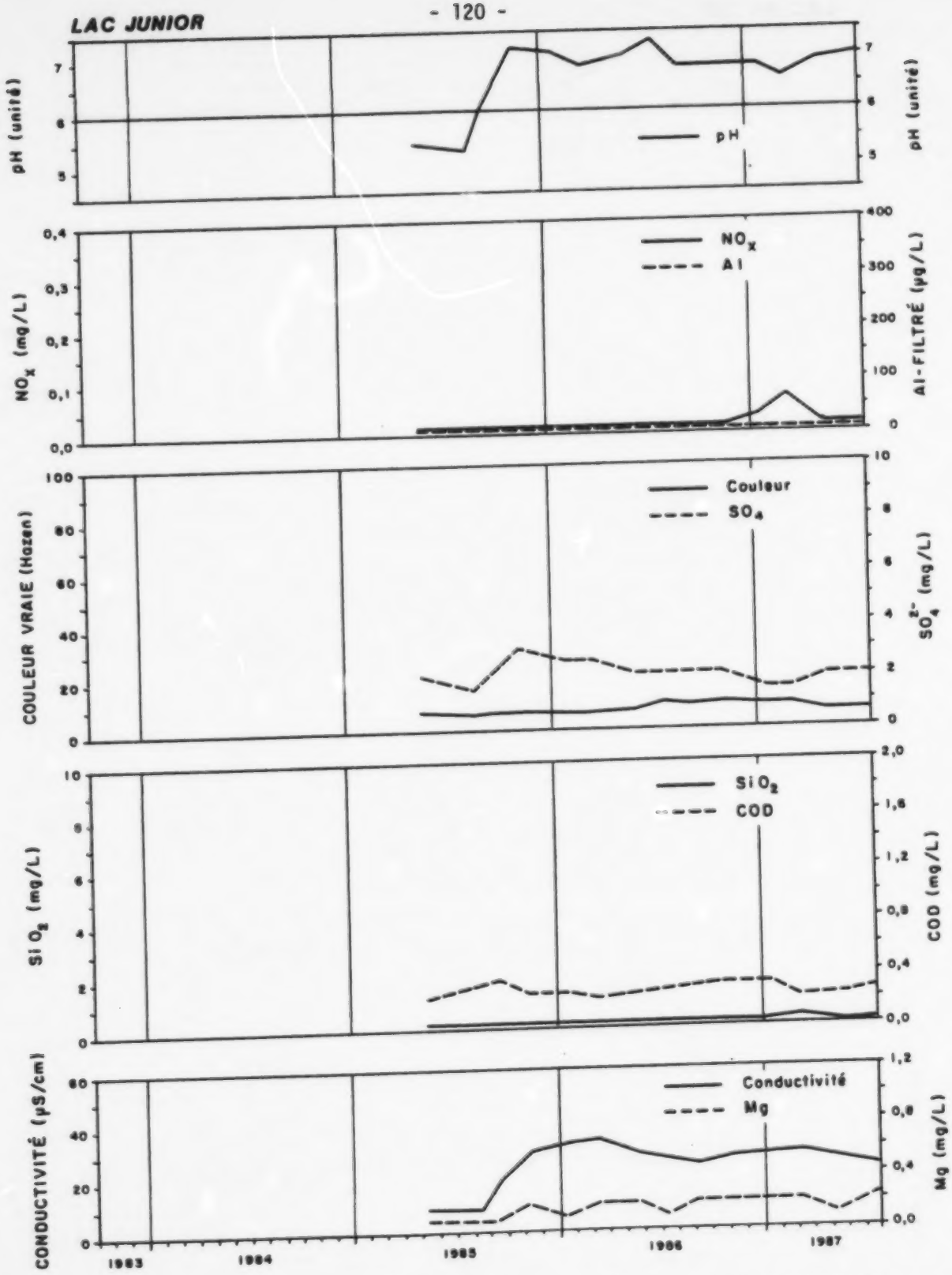
Annexe 4.1 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC MERRILL SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



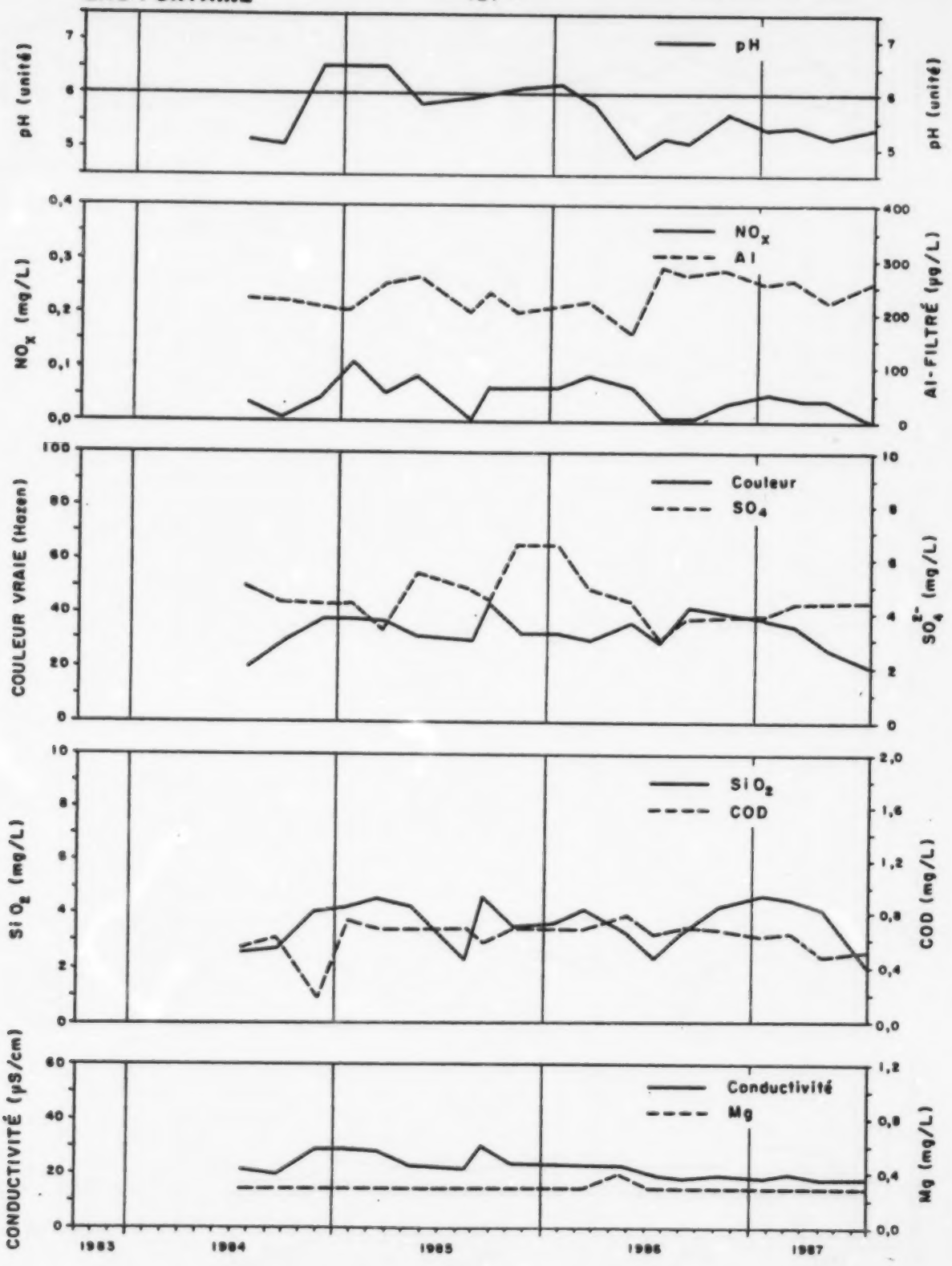
Annexe 4.2 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC DOW SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



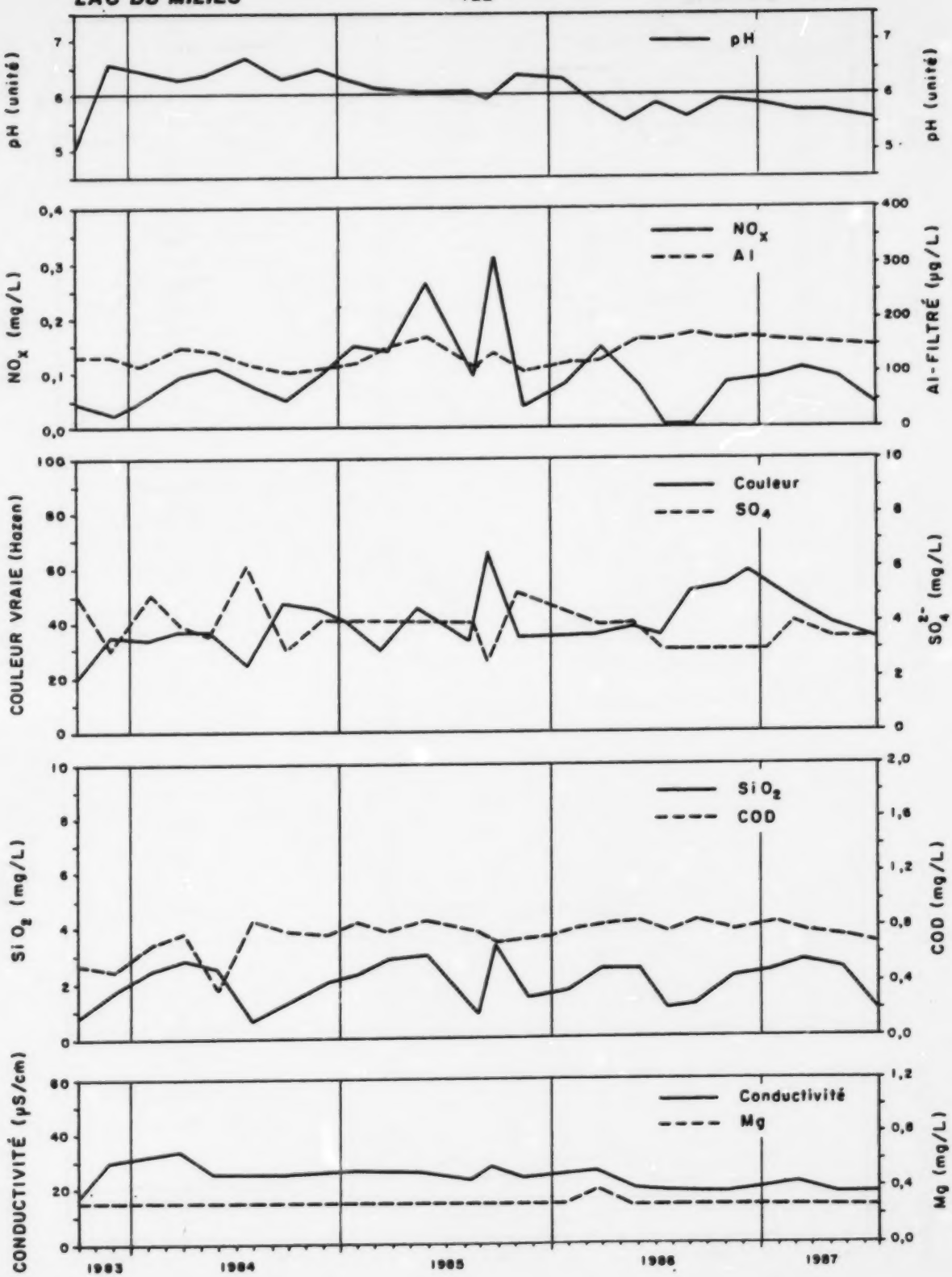
Annexe 4.3 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC MATTE SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



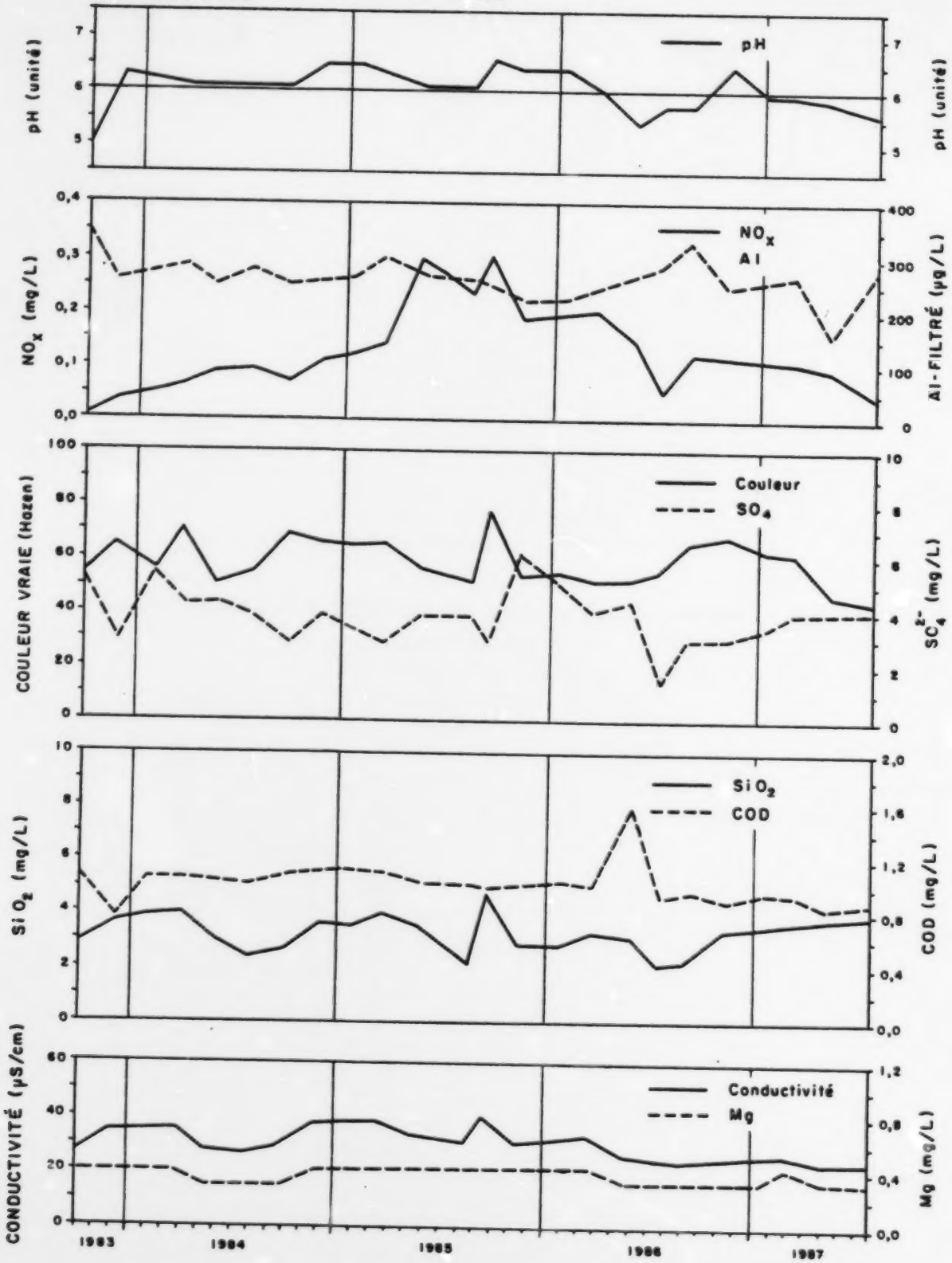
Annexe 4.4 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC JUNIOR SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



Annexe 4.5 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC FONTAINE SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



Annexe 4.6 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC DU MILIEU SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.



Annexe 4.7 ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DU LAC DES PINS SUITE AU CHAULAGE À LA CALCITE.

ANNEXE 5

RÉALISATION TECHNIQUE DU CHAULAGE SUR CHACUN DES LACS TRAITÉS

RÉALISATION TECHNIQUE DU CHAULAGE SUR CHACUN DES LACS TRAITÉS

Lac Boiteau: À la livraison, le camion a déversé sa cargaison dans le chemin menant au lac, qui était difficilement carrossable. Un tracteur assura le transport du produit pour le reste du voyage. L'épandage des 60 tonnes requises prit cinq jours à une équipe de cinq personnes.

Lac Dow et Merrill: Le transport de la chaux ensachée a été effectué par motoneige et par hélicoptère. L'épandage sur glace a été effectué de façon manuelle. Fait à noter, la formation de grumeaux a été observée à la suite de l'opération.

Lac Fontaine: La calcite a dû être livrée à plus d'un kilomètre du lac (inaccessible à des camions de fort tonnage), puis chargée et transportée par petites quantités au moyen d'un tracteur et d'une remorque. L'épandage des 40 tonnes de calcite requises a nécessité sept personnes et cinq jours de travail, au rythme d'environ une tonne à l'heure. Un quai a dû être construit pour le chargement des embarcations.

Lacs Lise, Reine et Vase: Des sentiers menant à chacun des lacs ont dû être aménagés. Tout le matériel requis (trimotos, chaloupes, calcite ensachée) a dû être transporté par radeau, via le lac Fontaine, jusqu'aux sentiers aménagés pour la circonstance. De là, le transport de la calcite a été effectué par trimotos et à dos d'hommes. La calcite a finalement été épandue manuellement avec l'aide d'une chaloupe.

Lac du Milieu: La construction d'un radeau a été rendue nécessaire pour ce premier chaulage. L'opération a nécessité quatre jours de travail par une équipe de six personnes. Vingt tonnes de calcite en vrac ont été requises pour ce lac.

Lac des Pins: Un radeau a dû être transporté à force d'hommes sur une distance d'une centaine de mètres. Le chaulage de ce lac a nécessité 15 tonnes de calcite ensachée qui ont été épandues en une seule journée.

Lac Matte: Une mouture plus fine a été choisie afin d'obtenir une meilleure dissolution de la calcite. Le lac a été traité avec le produit prédissous au moyen d'un radeau, tandis que l'épandage à proximité des rives a été réalisé manuellement au moyen d'une chaloupe. Ce travail a représenté deux mois de travail à une équipe de huit personnes.

Lac Junior: Le lac a été chaulé en une seule journée par une équipe de deux hommes, et a nécessité trois tonnes de calcite ensachée.

ANNEXE 6

STATISTIQUES DE PÊCHE DES LACS CHAULÉS

Annexe 6 Statistiques de pêche des lacs chaulés.

LAC BOITEAU - ZEC TAWACHICHE							ESPÈCE: Omble de fontaine	
AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79	69,9	0		2	6 hr		0,00	
81	69,9	10	0,45	2	14 hr	0,045	5,00	
83	48,1	11	2,25	2	2 jr	0,205	5,50	
84	48,1	6	0,51	2	2 jr	0,085	3,00	
86	48,1	0						
87		1845	149,90	374	528 jr	0,081	4,93	4170
								2700

LAC FONTAINE - ZEC TAWACHICHE							ESPÈCE: Omble de fontaine	
AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79	118,8	48	5,38	38	70 hr	0,112	1,71	
80	118,8	50	7,30	38		0,146	1,32	
83	78,9	2	0,45	2	2 jr	0,225	1,00	
84		0						
85		917	119,42	257	479 jr	0,130	3,57	9000
86		280	82,25	214	259 jr	0,294	1,31	4000
87		1220	156,51	366	490 jr	0,128	3,33	3000

LAC DU MILIEU - ZEC TAWACHICHE							ESPÈCE: Omble de fontaine	
AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79	85,5	348	80,04	313	869 hr	0,230	1,11	
80	142,5	207	42,02	234		0,203	0,88	
81	142,5	160	45,13	150	931 hr	0,282	1,07	
82	142,5	98	31,57	91	173 jr	0,322	1,08	
83	45,2	31	17,80	65	131 jr	0,574	0,48	
84		1687	204,10	420	776 jr	0,121	4,02	3500
85		757	142,22	402	708 jr	0,188	1,88	3000
86		1016	129,70	439	740 jr	0,128	2,31	1094
87		803	123,35	354	517 jr	0,154	2,27	1000

Annexe 6 (suite) Statistiques de pêche des lacs chaulés.

LAC DES PINS - ZEC TAWACHICHE — ESPÈCE: Omble de fontaine

AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79		5		5			1,00	
84	74,9	313	33,50	72	111 jr	0,107	4,35	1500
85		188	38,31	113	139 jr	0,204	1,66	1000
86		128	19,82	74	96 jr	0,155	1,73	
87		99	25,21	55	67 jr	0,255	1,80	

LAC JUNIOR - ZEC MENOKEOSAWIN — ESPÈCE: Omble de fontaine

AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79		0						500
81		0						1000
83		30	1,60		2 jr	0,053		500
84		67	10,10		28 jr	0,151		
85		25	6,90		18 jr	0,276		500
86		0						173
87		226	62,30		59 jr	0,276		608

LAC MATTE - ZEC LA CROCHE — ESPÈCE: Touladi

AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
79	29,0	9	20,50	26	195 hr	2,278	0,05	
80	45,0	4	10,78	16	67 jr	2,695	0,06	
81	45,0	0		15	54 jr		0,00	
82	45,0	0			5 jr			
83					0 jr			
84					0 jr			
85					0 jr			
87					0 jr			

Annexe 6 (suite) Statistiques de pêche des lacs chaulés.

LAC MATTE - ZEC LA CROCHE							ESPÈCE: Doré
AN	QUOTA (kg)	CAPTURE	POIDS (kg)	PÊCHEURS	EFFORT	PDS MOYEN (kg)	SUCCÈS (Po/Pe)	POISSONS ENSEM.
85		0			0 jr			220
87		0			0 jr			107

ANNEXE 7

DÉTAILS RELATIFS AUX CAPTURES QUOTIDIENNES AU FILET MAILLANT AU LAC JUNIOR EN 1982 ET EN 1986

ANNEXE 7

Détails relatifs aux captures quotidiennes au lac Junior en 1982.

DATE	NOMBRE	MASSE (kg)	C.U.E.	CAPTURES CUMULÉES
27 juillet	73	4,54	9,13	73
28 juillet	36	2,06	4,50	109
29 juillet	26	1,48	3,25	135
30 juillet	24	1,27	3,00	159
3 août	23	1,23	2,88	182
4 août	13	0,69	1,63	195
TOTAL	195	11,27		
ÉQUATION DE LA DROITE DE RÉGRESSION:	$CUE^1 = -0,0522 \times CC^2 + 11,48$ $r = -0,91$ ($P < 0,02$)			

Détails relatifs aux captures quotidiennes au lac Junior en 1986.

DATE	NOMBRE	MASSE (kg)	C.U.E.	CAPTURES CUMULÉES
14 août	163	20,66	20,40	163
15 août	81	10,20	10,10	244
19 août	38	4,64	4,75	282
TOTAL	282	35,50		
ÉQUATION DE LA DROITE DE RÉGRESSION:	$CUE^1 = -0,1305 \times CC^2 + 41,78$ $r = -0,99$ ($P < 0,02$)			

1 CUE: Captures par unité d'effort
2 CC : Captures cumulées.

Loisir, Chasse et Pêche
Québec

Ministère de
l'Environnement